

Jul  
93

Biblioteca Universitária  
UFSC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROJETO, EXECUÇÃO E PRODUÇÃO DE LAJES  
COM VIGOTES PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA



0.213.419-2

UFSC-BU

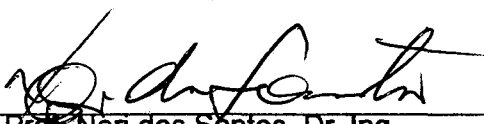
**ENGº JOÃO EDUARDO DI PIETRO**

FLORIANÓPOLIS - 1993

**PROJETO, EXECUÇÃO E PRODUÇÃO DE LAJES  
COM VIGOTES PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

**JOÃO EDUARDO DI PIETRO**


**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA"**



---

Prof. Neri dos Santos, Dr. Ing.  
Coordenador da Pós-Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



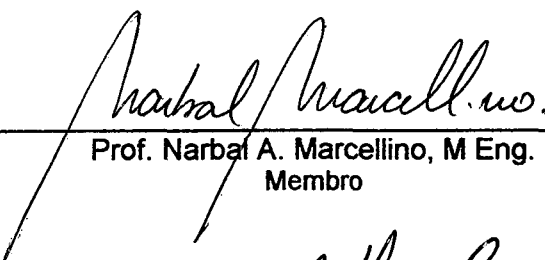
---

Prof. Luiz Fernando M. Heineck, Ph. D.  
Presidente



---

Prof. Daniel D. Loriggio, Dr. Ing.  
Membro



---

Prof. Narbal A. Marcellino, M Eng.  
Membro



---

Prof. Mauro Lacerda Filho, Ph. D.  
Membro

*Dedicado à minha família e, em  
especial, à minha esposa e filhos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Luiz Fernando M. Heineck, orientador dedicado e competente, por sua colaboração e incentivo.

Ao Professor Narbal Ataliba Marcellino, pela capacidade de análise dos problemas de engenharia e, especialmente, por sua amizade e valiosas sugestões, para as aplicações práticas abordadas neste trabalho.

Ao Professor Sergio Castello Branco Nappi, pela sua contribuição, nas oportunas críticas e pela dedicada e sincera amizade.

Ao professor Daniel D. Loriggio, pela capacidade de análise dos problemas estruturais.

Ao Professor Tuing Ching Chang por sua colaboração experiente e segura.

À Professora Jeanete Di Pietro, minha irmã, pela cuidadosa revisão do texto.

Aos professores do Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

Ao acadêmico Ociney Eleutério pela excelente qualidade dos desenhos e ilustrações.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS  
LISTA DE TABELAS  
RESUMO  
ABSTRACT

### 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Histórico .....	1
1.2. Objetivos .....	6
1.3. Pesquisas .....	7
1.4. Aplicações .....	9

### 2 - PROJETO DE LAJES PRÉ-MOLDADAS

2.1. Considerações .....	10
2.2. Tipos de lajes pré-moldadas .....	11
2.3. Elaboração do projeto .....	15
2.4. Detalhes do projeto .....	16
2.5. Interpretação do projeto .....	19

### 3 - DIMENSIONAMENTO

3.1. Segurança estrutural .....	21
3.2. Estados limites .....	22
3.3. Indicações para um roteiro de dimensionamento .....	24
3.4. Verificações .....	34
3.5. Roteiro de dimensionamento simplificado .....	37
3.6. Exemplo de Cálculo .....	39
3.7. Exemplo de Cálculo de maneira simplificada .....	45

### 4 - PRODUÇÃO

4.1. Requisitos da produção .....	51
4.2. Fabricação .....	52
4.3. Produtividade .....	57
4.4. Controle de qualidade .....	59
4.5. Homologação e certificação de conformidade .....	60

<b>5 - ASPECTOS CONSTRUTIVOS</b>	
5.1. Transporte e montagem .....	62
5.2. Complementação .....	64
5.3. Casos particulares.....	68
<b>6 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO</b>	
6.1. Desempenho estrutural .....	73
6.2. Isolamento térmico .....	74
6.3. Isolamento acústico .....	75
6.4. Estanqueidade .....	75
6.5. Resistência ao fogo.....	76
<b>7 - AVALIAÇÃO DO PRODUTO</b>	
7.1. Custos de fabricação.....	77
7.2. Comparações com outros tipos de laje .....	82
<b>8 - INDICAÇÕES</b>	
8.1. Novos tipos de laje pré-moldada com vigotes.....	85
8.2. Elementos para discussão de uma futura norma.....	86
8.3. Indicativos para novas pesquisas .....	89
<b>9 - CONCLUSÕES</b>	
9.1 Quanto à fabricação .....	90
9.2 Quanto ao custo .....	90
9.3 Quanto à execução .....	91
9.4 Quanto ao desempenho.....	91
<b>11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>
<b>12 - BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR .....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	PORTÃO DOS LEÕES.....	1
Figura 1.2.	PISOS DE MADEIRA - FORUM ROMANO .....	2
Figura 1.3.	ARCOS ROMANOS EM ALVENARIA DE CERÂMICA.....	3
Figura 1.4.	DETALHE DA PATENTE DE LAMBOT .....	3
Figura 1.5.	SISTEMA MONIER .....	4
Figura 1.6.	SISTEMA PRÉ-MOLDADO MONIER .....	4
Figura 1.7.	SISTEMA COIGNET .....	4
Figura 1.8.	SISTEMA PRÉ-MOLDADO HERBST.....	5
Figura 1.9.	VARIAÇÕES TIPOLOGICAS DE LAJES PRÉ-MOLDADAS.....	5
Figura 2.1.	LAJE PRÉ-MOLDADA.....	10
Figura 2.2.	TIPOS DE LAJES RESISTENTES.....	12
Figura 2.3.	LAJE PRÉ-MOLDADA SEMI-RESISTENTE.....	12
Figura 2.4.	MODELOS DE VIGOTES .....	13
Figura 2.5.	LAJE PRÉ-MOLDADA BETA.....	13
Figura 2.6.	VIGOTES TRELIÇADOS (LAJE TRELIÇA).....	14
Figura 2.7.	LAJE ALVEOLAR DE CONCRETO PROTENDIDO .....	15
Figura 2.8.	APOIOS SIMPLES .....	16
Figura 2.9.	ENGASTES PARCIAIS.....	16
Figura 2.10.	ENGASTES PERFEITOS.....	17
Figura 2.11.	PAREDES PARALELAS AOS VIGOTES.....	17
Figura 2.12.	BALANÇOS .....	18
Figura 2.13.	CODIFICAÇÃO PARA LAJE PRÉ-MOLDADA .....	19
Figura 2.14.	PROJETO DE LAJE PRÉ-MOLDADA .....	20
Figura 3.1.	DOMÍNIO DAS DEFORMAÇÕES.....	22
Figura 3.2.	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NO CONCRETO .....	23
Figura 3.3.	DIMENSÕES USUAIS DO VIGOTE E LAJE.....	24
Figura 3.4.	SOLICITAÇÕES EM LAJES.....	27
Figura 3.5.	HIPÓTESE DE CÁLCULO .....	28
Figura 3.6.	ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO .....	33
Figura 3.7.	CARACTERÍSTICAS DA LAJE .....	40
Figura 4.1.	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO ..	50

Figura 4.2.	TIPO DE FÔRMA METÁLICA.....	52
Figura 4.3.	POSIÇÃO DA ARMADURA.....	54
Figura 4.4.	MESA VIBRATÓRIA PARA VIGOTES PRÉ-MOLDADOS.....	56
Figura 4.5.	DIMENSÕES USUAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS .....	57
Figura 5.1.	TRANSPORTE DE VIGOTE .....	62
Figura 5.2.	DETALHE DO ESCORAMENTO.....	63
Figura 5.3.	MONTAGEM DA LAJE.....	64
Figura 5.4.	TRÂNSITO SOBRE LAJE INACABADA.....	64
Figura 5.5.	ARMADURA NEGATIVA E DE DISTRIBUIÇÃO .....	65
Figura 5.6.	INSTALAÇÃO ELÉTRICA.....	66
Figura 5.7.	REFORÇO NOS FUROS DA LAJE.....	66
Figura 5.8.	CONCRETAGEM.....	67
Figura 5.9.	LAJE APOIADA EM ALVENARIA.....	68
Figura 5.10.	VIGOTES DESENCONTRADOS .....	69
Figura 5.11.	DETALHE DA PLATIBANDA.....	69
Figura 5.12.	DETALHE DE VÍNCULOS EM LAJE INCLINADA.....	70
Figura 5.13.	LAJE EM FORMA DE "L" .....	71
Figura 5.14.	LAJES COM BORDOS NÃO ORTOGONAIS .....	72
Figura 6.1.	EFEITO DE ARCO.....	74
Figura 7.1.	GRÁFICO DO PONTO DE EQUILÍBRIO .....	82
Figura 8.1.	TRELIÇAS .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 -	Espaçamento entre barras para aço CA 60 .....	33
Tabela 3.2 -	Contra-flecha.....	37
Tabela 3.3 -	Momento de Inércia para vigas de seção "T".....	47
Tabela 3.4 -	Coeficientes para dimensionamento à flexão .....	49



## **RESUMO**

Engenheiros e arquitetos, que atuam no setor de edificações da Construção Civil, adotam produtos de diferentes procedências no cotidiano de suas atividades. São usados tanto insumos primários como areia e brita, a produtos com alto grau de industrialização como os materiais de acabamento.

As lajes constituem sempre uma importante decisão a nível de projeto, que pode representar sensíveis resultados no custo e no desempenho da edificação.

Neste trabalho estuda-se a procedência histórica, tipos, elementos de projeto, execução e produção das lajes com vigotes pré-moldados de concreto armado, com o objetivo de reunir todas as informações sobre a fabricação e uso deste importante componente das edificações.

Visa-se contribuir tanto a nível de projeto e execução como a nível do processo de industrialização onde centenas de pequenas e médias indústrias dedicam-se a esta atividade.

Ao abordar-se os requisitos necessários ao projeto, à boa execução e fabricação, pode-se esperar que o resultado final seja incrementar a produtividade e melhorar a qualidade referente a este componente construtivo.

## **ABSTRACT**

Civil engineers and architects, working in the building construction field, make use of products with different origins, in the day by day activities. Either natural material as sand and gravel, and highly industrialized products as finishing material are used.

The slabs are always a significant step in the design decision process, wich can have great influences in the initial building costs and performance.

In the present work historical aspects, different types, design elements, execution and production of slabs made with precasted reinforced concrete joists are studied, with the main objective of collecting and organising all information about design, production and use of this important building component.

A general aim is to contribute not only at a design and production level, but also in the industrialisation process in wich hundreds of small and medium industries are involved.

Taking into account the necessary exigencies of design, careful production and implementation, one can expect that the final result will be an increment in the productivity and quality of the building component.

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1. HISTÓRICO

A história das construções na civilização ocidental, vista sob o interesse das lajes, mostra que o homem precisou de milhares de anos para ocupar espaços em pisos acima do solo.

Num primeiro momento, apropriava-se somente dos materiais que a natureza lhe oferecia, como a madeira e a pedra, usando-as como teto ou estrados de piso e como suporte de suas construções.

As pedras, após cortadas e adaptadas a seus apoios somente conseguiam vencer vãos da ordem de 5 metros, como na Ilha de Creta em 1250 a.C., mostrada abaixo:

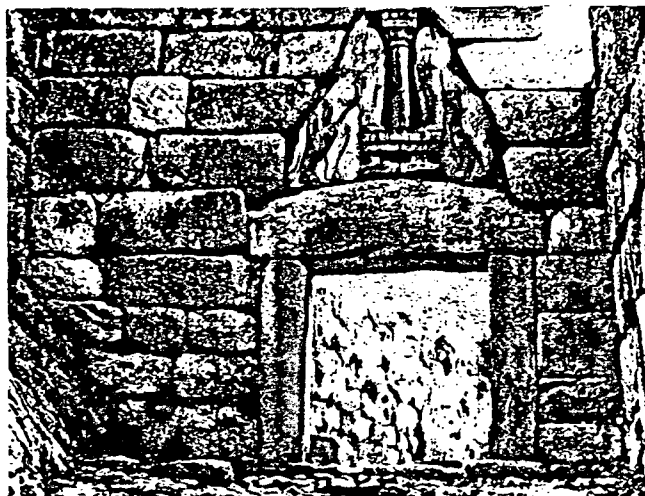


FIGURA 1.1. - PORTÃO DOS LEÕES (HITCHCOC, 1981)

Já a madeira, limitada nas suas dimensões naturais, também restringia o tamanho dos vãos. Nas construções romanas, como por exemplo, a separação - entre pisos - era feita com assoalhos de madeira.

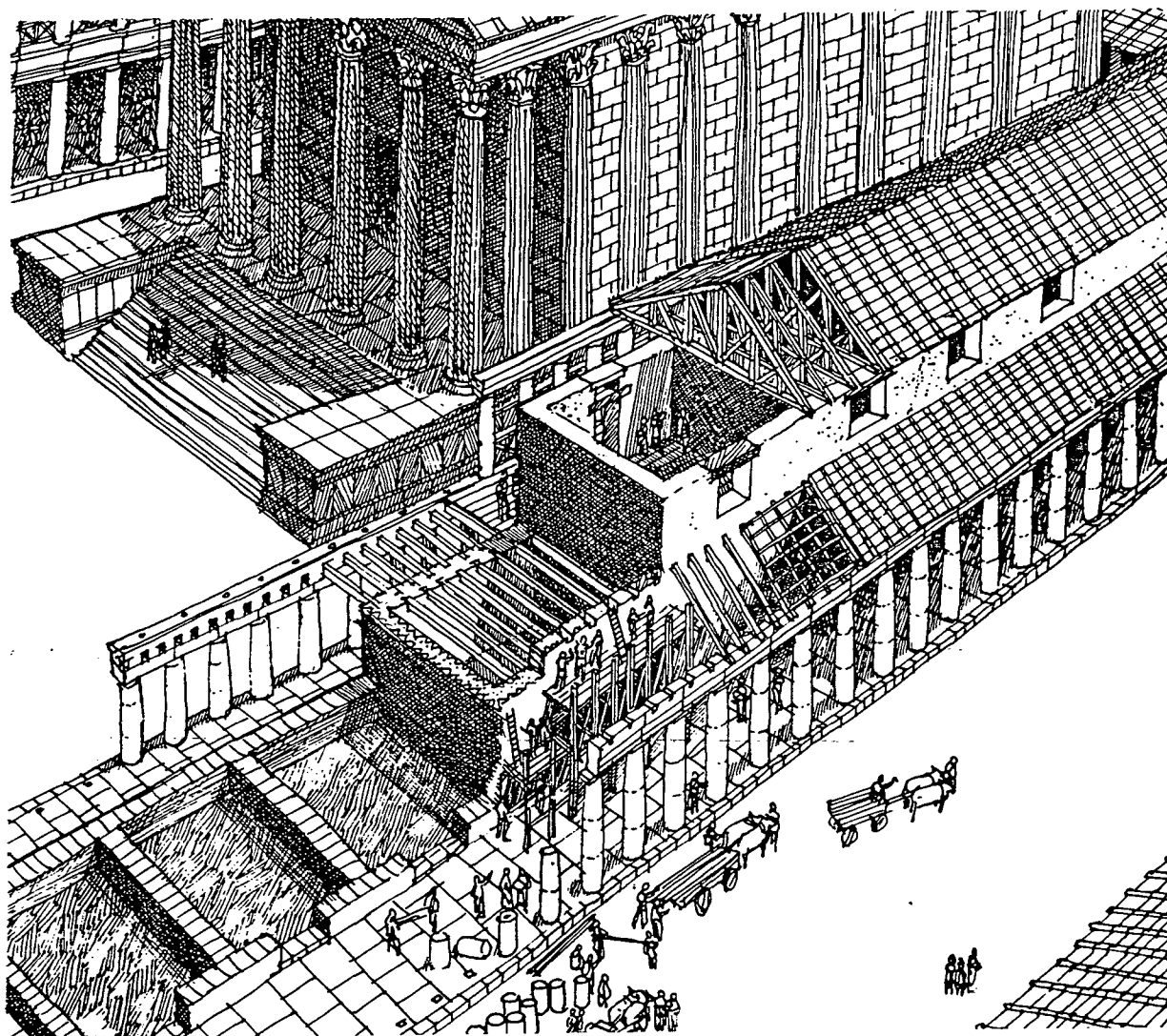


FIGURA 1.2. - PISOS DE MADEIRA - FORUM ROMANO (MACAULAY, 1978)

Uma evolução importante, foi o uso de arcos de pedra. Esta técnica também usada de modo excepcional durante o Império Romano, permitia a execução de maiores vãos, pois os arcos apresentavam um comportamento singular, desenvolvendo somente esforços de compressão.

A construção de arcos em alvenaria de cerâmica argamassada com cal, para formação de domos, cúpulas ou mesmo de lajes de piso sobre abóbodas, foi uma técnica muito difundida até meados do século XIX, principalmente na construção de templos e igrejas, onde havia necessidade de liberar espaços mais amplos.

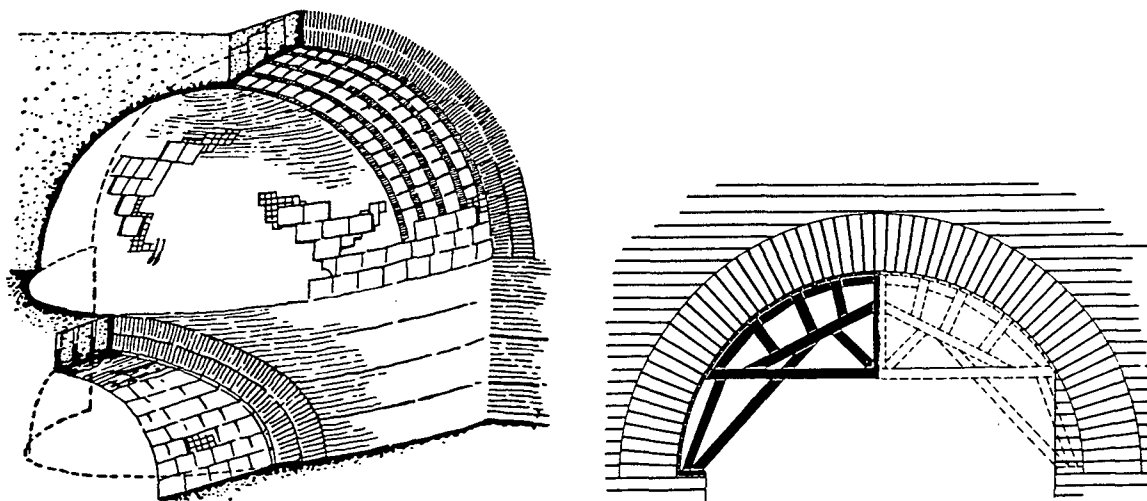


FIGURA 1.3. - ARCOS ROMANOS (MACAULAY, 1978)

Com a descoberta do cimento por volta de 1845, a idéia de associar este novo material ao ferro para torná-lo mais resistente a esforços de tração foi feita pelo engenheiro francês Joseph Louis Lambot (1814-1887), o qual denominou-o de "cimento armado".

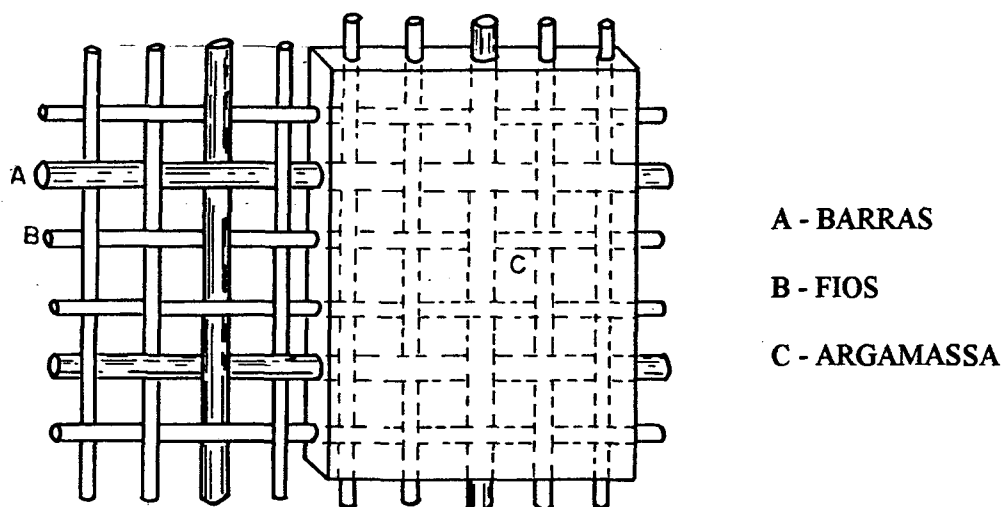


FIGURA 1.4. - DETALHE DA PATENTE DE LAMBOT (VASCONCELOS, 1985)

Essa invenção foi apresentada em 1855 na Exposição Universal de Paris, através de um barco. A partir dessa idéia inicial, o horticultor francês Joseph Monier (1823-1906), com certas adaptações, começou a confeccionar vasos, tanques e caixas d'água. Posteriormente, em 1875, chegou a executar uma ponte com 16,5 m de comprimento por 4 m de largura. Monier, por aplicar e comercializar este novo material, foi considerado o inventor do cimento armado, que a partir de 1920, passou a chamar-se de concreto armado.

Monier não parou por aí, começou a aplicar o cimento armado em habitações, na forma de lajes, e para tanto, usava como armadura principal, perfis metálicos em forma de "I". Este novo método, chamado de sistema Monier, permitia a execução de lajes com vãos relativamente maiores que os anteriormente descritos.

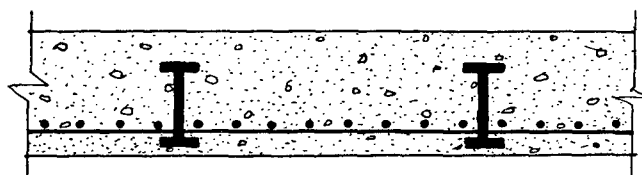


FIGURA 1.5. - SISTEMA MONIER (SEGURADO, 1967)

A partir deste sistema, o próprio Monier iniciou a fabricação das primeiras lajes pré-moldadas, usando entre os perfis de aço, placas de cimento armado pré-moldadas que eram montadas em obra e posteriormente capeadas com argamassa de cimento e areia.

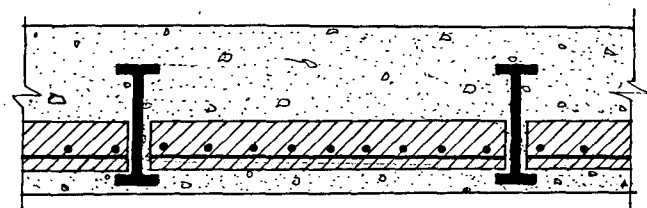


FIGURA 1.6. - SISTEMA PRÉ-MOLDADO MONIER (SEGURADO, 1967)

Em 1861, Francois Coignet (1812-1895) publicou na França um trabalho sobre cimento armado, onde são destacadas as lajes constituídas por nervuras e armadas exclusivamente com barras de aço redondo, criando, em suas hipóteses de cálculo as primeiras vigas "T", precursoras dos métodos de cálculo das atuais lajes pré-moldadas.

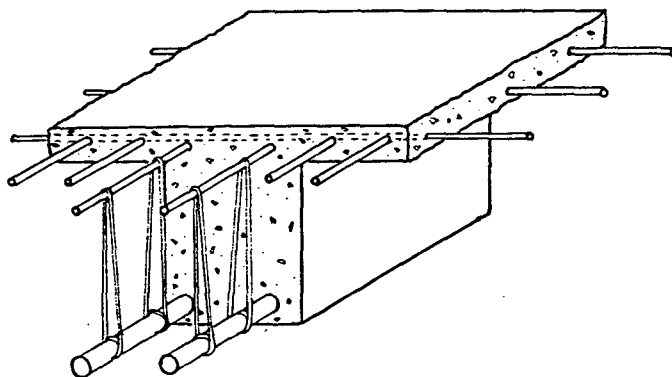


FIGURA 1.7.- SISTEMA COIGNET (SEGURADO, 1967)

Adquirindo as patentes desses sistemas construtivos franceses, engenheiros alemães começam a desenvolver sistemas próprios e, através de Herbst, criam as primeiras lajes pré-moldadas que, basicamente, perduram até hoje.

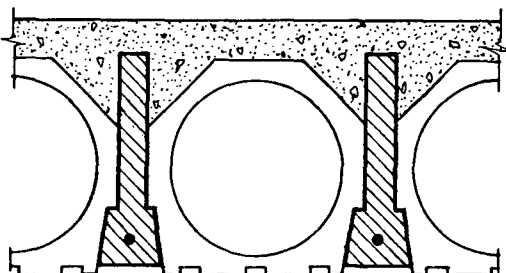


FIGURA 1.8. - SISTEMA PRÉ-MOLDADO HERBST (SEGURADO, 1967)

Esse processo construtivo era constituído por vigotes pré-moldados de concreto armado e por blocos de alvenaria. O conjunto, depois de montado em obra, levava um capeamento com argamassa de cimento e areia, a fim de homogeneizá-lo.

A difusão desse novo sistema foi tão rápido, que praticamente todos os países europeus o adotaram, em virtude da facilidade de execução e custos relativamente baixos. As variações, na forma dos vigotes e blocos cerâmicos começaram a surgir, adaptando-se as condições de segurança das normas vigentes nos respectivos países.

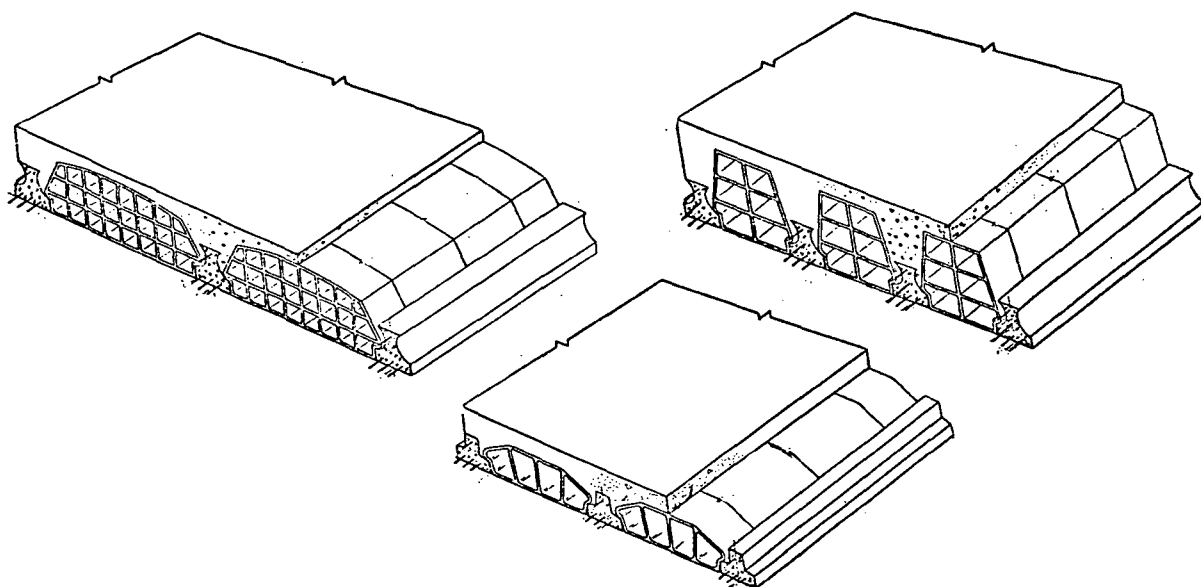


FIGURA 1.9. - VARIAÇÕES TIPOLOGICAS DE LAJES PRÉ-MOLDADAS UTILIZADAS ATUALMENTE NA EUROPA (UEAtc, 1982)

No Brasil, não se tem registro das primeiras aplicações desse tipo de laje. Supõe-se que os precursores foram as indústrias de pré-moldados instaladas no Rio de Janeiro na década de 40 (AFALA, 1991)

Como se sabe, esse tipo de laje pré-moldada é sempre constituída de um elemento resistente à tração, ora perfis metálicos ora armaduras presentes na parte inferior dos vigotes pré-fabricados, de um elemento cerâmico vazado (bloco, lajota ou tavela), colocado entre vigotes e que tem as funções de possibilitar uma superfície para a concretagem e reduzir o peso do conjunto e um capeamento capaz de resistir aos esforços de compressão.

Atualmente, este processo construtivo acha-se amplamente difundido em todo o mundo, e, em praticamente, todo o território brasileiro, existindo indústrias de diferentes tamanhos e características para atendimento da grande demanda desse produto.

## **1.2. OBJETIVOS**

Com o intuito de sensibilizar as pequenas e médias empresas espalhadas pelo país, que fabricam este tipo de laje pré-moldada, a fim de que o produto tenha reais condições de qualidade, resistência e economia, e ainda, fornecer subsídios aos projetistas de estrutura, que venham a adotar esse tipo de laje, este trabalho objetiva:

1. Buscar informações preliminares sobre a aplicação e pesquisa de componentes construtivos do tipo vigotes pré-moldados para lajes, reunindo para isso, informações obtidas junto a bibliografia disponível e através dos fabricantes, não só no país, mas também no exterior;
2. Justificar a grande incidência dessa solução construtiva, atualmente no Brasil. Descrever sobre suas implicações a nível de projeto, execução e avaliação econômica;
3. Apresentar indicações para o projeto de edificações, que adotem as lajes compostas de vigotes pré-moldados de concreto armado, e as possíveis soluções para diferentes alternativas de traçado arquitetônico;
4. Abordar a questão da segurança estrutural e suas verificações.
5. Analisar a questão da produção e as possibilidades de controle da produtividade e garantia da qualidade, com indicações para implantação de novas indústrias;
6. Demonstrar o aspecto da construtividade deste componente;
7. Avaliar o desempenho construtivo e de custos, comparando, sucintamente, com outros tipos de laje;
8. Apresentar subsídios para novas pesquisas.



### 1.3. PESQUISAS

Num panorama internacional, as pesquisas sobre o tema tem sido desenvolvidas em diversos países.

O intercâmbio da cultura e do comércio entre os países europeus, com a implantação do Mercado Comum, cada vez mais facilita a circulação e troca de informações, materiais, equipamentos e de processos construtivos, impondo a necessidade, quer para os fabricantes como para os usuários, de generalizar e uniformizar as técnicas construtivas.

A conveniência de uma normalização, fez com que fosse criada em Madri, em 10 de outubro de 1960, a União Européia para a Apreciação Técnica da Construção - UEAtc - que congrega os seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Espanha, França, Holanda, Inglaterra, Itália e Portugal (UEAtc, 1982).

A finalidade dessa associação é estabelecer acordos com vista a:

- \* Uniformizar as condições segundo as quais os pareceres de apreciação técnica possam ser emitidos;
- \* Fixar as exigências funcionais comuns, para os diversos tipos habitacionais;
- \* Definir, em função do processo da investigação e dos resultados da experiência, os critérios técnicos que devam orientar os estudos de apreciação dos materiais e técnicas construtivas;
- \* Promover troca de informações, a coordenação da investigação e a uniformização dos métodos de ensaio e de controle;
- \* Criar uma comissão de coordenação e de jurisprudência com o encargo, em especial, de assegurar a equivalência dos pareceres de apreciação emitidos nos diversos países.

Esse tipo de laje pré-moldada, chamada na Europa de Pavimentos não Tradicionais, tem sido amplamente pesquisada pelos países membros da UEAtc, e as normas para sua homologação são bastante rígidas. Atualmente, as lajes pré-moldadas com vigotes de concreto armado concorrem com as alternativas construtivas das lajes pré-moldadas de concreto protendido, ou com armaduras em forma de treliça.

As pesquisas sobre o assunto, no Brasil, tem sido ainda tímidas, principalmente pela simplicidade deste tipo de pré-moldado, e ainda, pela falta de uma norma específica para esta laje.

A Universidade Federal de Santa Maria (RS), através de seu Laboratório de Materiais de Construção Civil (MULLER & PINTO, 1984), realizou ensaios para verificação das características mecânicas dos vigotes e das lajotas cerâmicas, também chamadas de blocos de cofragem ou tavela. É aplicado, em laboratório, um carregamento gradativo sobre os vigotes, verificando a resistência à flexão, deformações e fissuração. As lajotas cerâmicas são ensaiadas à compressão a fim de aferir sua resistência.

A Associação dos Engenheiros da Bahia (ALMEIDA FILHO, 1982), publicou um trabalho sobre lajes pré-moldadas, enfocando o prescrito nas normas brasileiras NB-1 (ABNT, 1982 - NBR 6118) e NB-4 (ABNT, 1980 - NBR 6119), quanto aos aspectos construtivos e de montagem em obra.

O Laboratório de Experimentação em Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (PADARATZ, 1990), executou ensaios com esse tipo de laje pré-moldada. Foi montado em laboratório um protótipo da laje, usando quatro vigotes, com inter-eixo de 35 cm e com capeamento de 3 cm. Foram então verificadas as deformações e a fissuração, mediante um carregamento gradativo, chegando a conclusão que as flechas teóricas são maiores que as experimentais.

Atualmente as necessidades de pesquisa sobre o tema são justificáveis pelas seguintes razões:

1. **SEGURANÇA** - apesar da simplicidade que envolve esse tipo de laje pré-moldada, tanto na produção dos vigotes como na sua montagem em obra, carece de uma normalização formal e atinente as suas características, que garantam sua integridade durante a montagem e serviço;
2. **ECONOMIA** - um estudo comparativo de custos com outros tipos de lajes moldadas na obra, de modo que, de posse desses parâmetros e pelos critérios da segurança e estabilidade, permitam a adoção dessa alternativa de construção, não só em residências de um ou dois pavimentos, mas também, em edifícios de maior porte.
3. **MERCADO** - com o intuito de difundir ainda mais seu uso, tornando-as confiáveis com a melhoria de suas qualidades, e, face a necessidade cada vez maior de habitações e com o crescente aumento da implantação de novas indústrias, torna-se importante sistematizar o conhecimento existente;

**4. QUALIDADE** - visando obter um produto que cumpra satisfatoriamente suas finalidades e apresente a maior durabilidade possível.

**5. DESEMPENHO** - uma avaliação do desempenho, isto é, seu comportamento em uso ou utilização, caracterizando o fato de que o produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a ações e influências durante sua vida útil (MARCELLINO, 1991).

## **1.4. APLICAÇÕES**

As aplicações das lajes pré-moldadas, objeto deste trabalho de pesquisa, constituídas de vigotes de concreto armado intercalados com blocos ou lajotas de cerâmica, recebendo em obra uma camada de concreto: o capeamento, com função resistente e de solidarização do conjunto, incorporando ainda uma armadura complementar de travamento dos vigotes e de distribuição de tensões, tem seu funcionamento comparável a de uma laje nervurada e armada numa única direção (AFALA, 1991).

As características deste conjunto propiciam uma relativa pré-fabricação, no sentido que, diminuem a necessidade do emprego de formas (assoalho), em relação a laje totalmente moldada no local. Reduz também, a quantidade de concreto empregado e o peso próprio, pela utilização de blocos vazados.

Assim, sua aplicação em construções residenciais, não só nas unifamiliares, mas também em edifícios de pequeno e médio portes, é bastante intensa. Isto se deve a facilidade e rapidez na sua execução, proporcionando reais ganhos nos custos operacionais.

Na construção de edifícios de grande porte, ou sujeitos a verificação da ação do vento, são requeridas disposições estruturais para combater o efeito do vento. Em alguns casos, as lajes podem ser desprezadas, considerando-se apenas o efeito de pórtico dos pilares e vigas. Portanto, há possibilidade de adotar-se lajes pré-moldadas desde que sejam observadas as prescrições normativas de combate a ação do vento.

O emprego destas lajes, não é permitido nas edificações industriais ou comerciais, onde poderão ser exigidos vãos maiores e sobrecargas não compatíveis com a sua utilização, pois dependem diretamente da natureza e magnitude das cargas aplicadas e do vão a ser vencido.

Não é admissível também, para estas lajes, a ação predominante de cargas concentradas ou de cargas dinâmicas, de choque ou vibração, por mais elevada que seja sua capacidade resistente. Para esses casos, os estudos são efetuados por verificação experimental.

## CAPÍTULO 2

### PROJETO

#### 2.1. CONSIDERAÇÕES

As lajes são os elementos que, formando parte da estrutura horizontal das edificações, suportam as cargas e as transmitem aos apoios, servindo também de separação entre os andares. A laje pré-moldada com vigotes de concreto armado, é um dos tipos de laje. Seu funcionamento é unidirecional, isto é, equivalente à laje maciça ou nervurada, armada numa única direção.

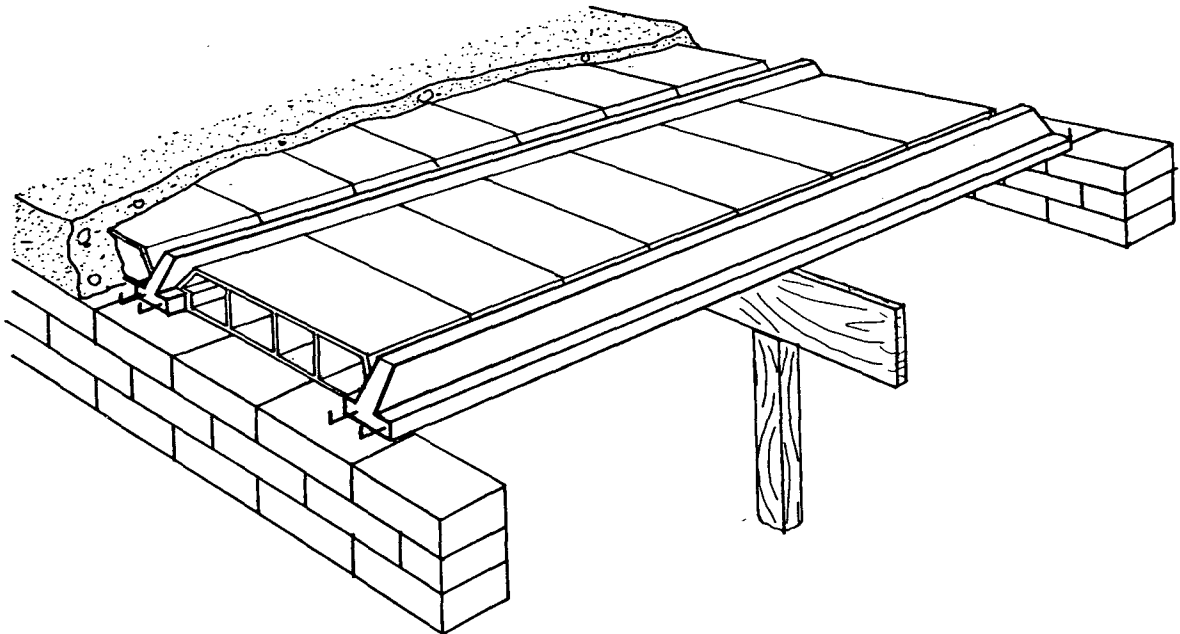


FIGURA 2.1. - LAJE PRÉ-MOLDADA

A função da laje não se limita a receber as ações das cargas e transmiti-las aos outros elementos da estrutura. Uma laje adequadamente projetada, deve cumprir outros papéis, que em geral, por serem pouco conhecidos pelos usuários, não são devidamente valorizados.

O fator econômico, normalmente preponderante, por ser esse tipo de laje considerada de menor custo, se sobrepõe a outros, também com funções de suma importância, como os isolamentos de origem térmica, acústica, à umidade e proteção contra incêndio.

A escolha de uma laje deve satisfazer ainda, as condições de monolitismo, estabilidade, continuidade e rigidez, para conferir à estrutura, como um todo, o grau de segurança necessário a toda edificação.

Entende-se por monolitismo da laje pré-moldada, como sendo, a perfeita aderência dos vigotes com o concreto lançado em obra para execução do capeamento. Apesar de todos os cuidados empregados na concretagem, esta união nem sempre é possível, devido a falta de rugosidade nas faces do vigote, surgindo assim, uma espécie de diafragma nessa interface, como demonstrado experimentalmente no Laboratório de Experimentação em Estruturas da UFSC (PADARATZ, 1990).

A desempenho da estrutura pode ser melhorado, quando se tem melhores condições de ligação dos vigotes da laje pré-moldada com os elementos da estrutura que a suportam.

A continuidade entre lajes pré-moldadas, é a capacidade que ela possui, de absorver os momentos negativos sobre os apoios, provenientes da continuidade da laje e que são combatidos pela armadura negativa, disposta em seu capeamento, podendo aumentar a rigidez do conjunto laje-viga.

As condições estabelecidas pelos Estados Limites, como será visto no capítulo 3, exige que a laje não tenha nem deformação excessiva, nem fissuração nociva a sua durabilidade.

Portanto, ao projetar-se uma edificação, todos esses fatores devem ser levados em consideração, conforme prescrevem as normas, a fim de que as condições de conforto e segurança sejam perfeitamente asseguradas.

## **2.2. TIPOS DE LAJES PRÉ-MOLDADAS**

As lajes classificam-se de acordo com a capacidade resistente de seus vigotes ou nervuras, no momento em que são executadas em obra. Assim, são denominadas de resistentes, semi-resistentes e não resistentes (APOLO, 1979).

As lajes pré-moldadas resistentes são aquelas em que, seus vigotes, são os elementos capazes de resistir, por si sós, às solicitações a que são submetidos. Neste caso, encontram-se as lajes de madeira, as lajes com perfis metálicos ou lajes de concreto armado formadas com vigas "T". As lajes pré-fabricadas em placas, do tipo alveolar, também estão incluídas nesta classificação.

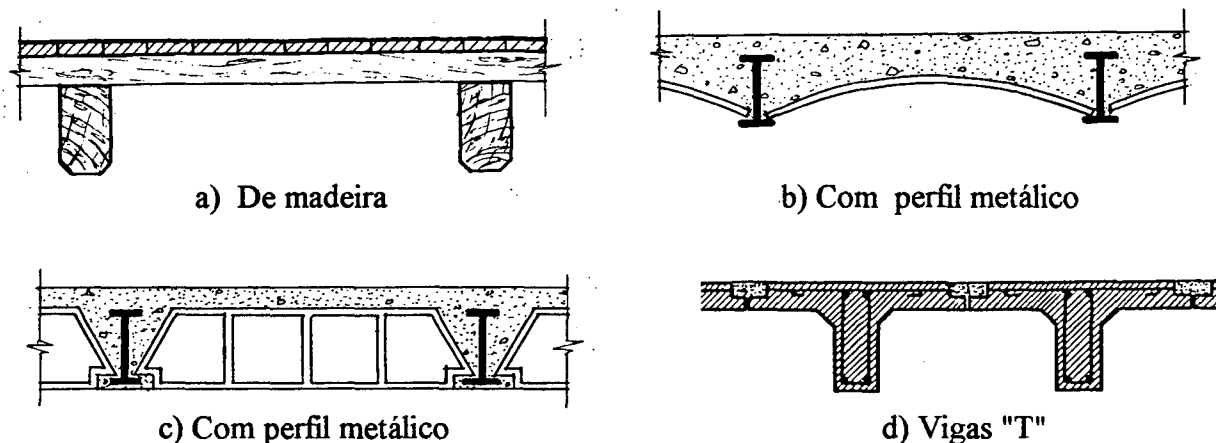


FIGURA 2.2. - TIPOS DE LAJES RESISTENTES

As lajes pré-moldadas resistentes foram substituídas, na maioria dos casos, pelas semi-resistentes. São consideradas semi-resistentes porque precisam da colaboração do capeamento que, executado em obra, funciona como um elemento capaz de resistir aos esforços de compressão oriundos da flexão.

Como vantagens, tem-se vigotes mais econômicos e de menor peso, podendo a laje cumprir na maioria dos casos, as condições de monolitismo, estabilidade, continuidade e rigidez.

Os elementos que compõem as lajes semi-resistentes são os vigotes, os blocos de tavela ou cofragem, o capeamento, a armadura de distribuição de tensões e travamento dos vigotes e eventualmente, a armadura para absorver os momentos negativos.

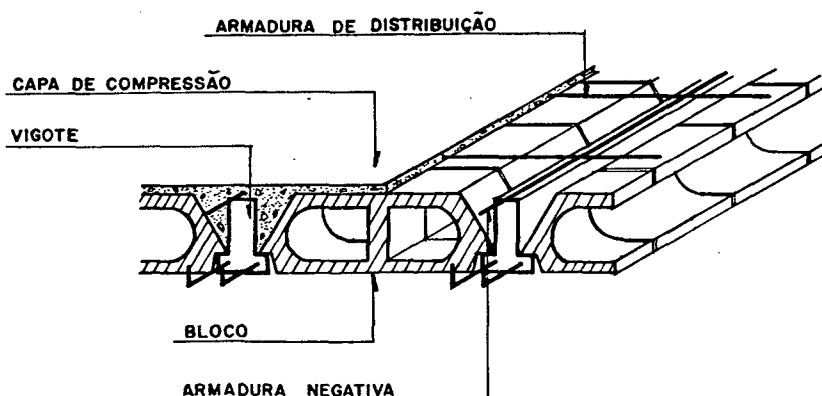


FIGURA 2.3. - LAJE PRÉ-MOLDADA SEMI-RESISTENTE

Existe uma grande variedade de vigotes de concreto pré-moldado mas sua seção típica é sempre em forma de "T" invertido. Para garantir o monolitismo, isto é, a perfeita união entre o vigote e o concreto adicionado em obra, tem-se procurado dar formas aos vigotes que possibilitem melhorar esta aderência.

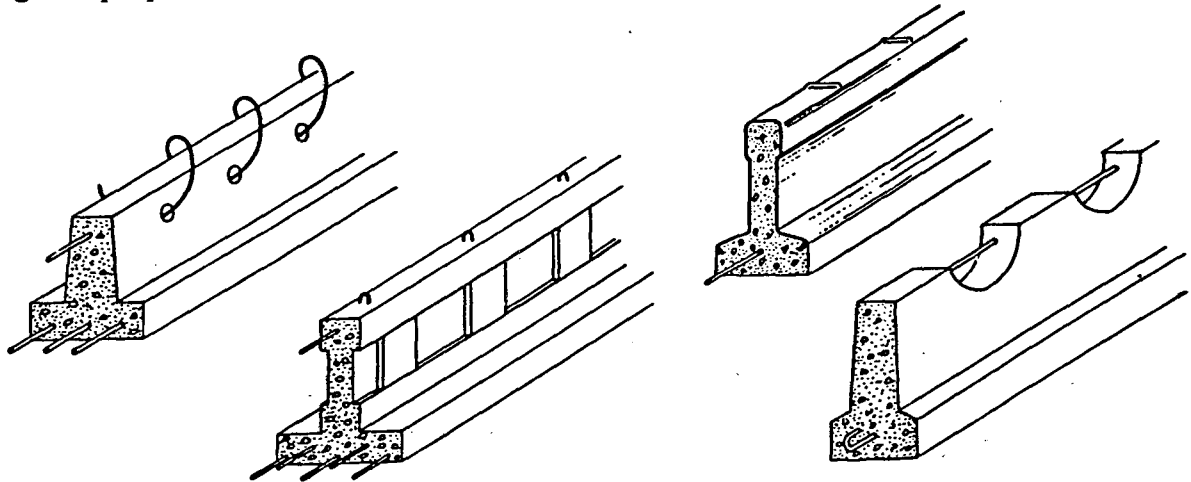


FIGURA 2.4. - MODELOS DE VIGOTES

Lajes não resistentes, são assim denominadas, porque suas características mecânicas, no momento de sua execução, são nulas. Neste caso estão as lajes moldadas "in loco", que não fazem parte dos objetivos deste trabalho de pesquisa.

Ainda com respeito aos tipos de vigotes semi-resistentes tem-se, quanto a sua natureza os seguintes tipos:

### 2.2.1 VIGOTES COMUNS

Os vigotes pré-moldados ou pré-fabricados de concreto armado, como descrito, possuem apenas a armadura longitudinal. Esta laje, conhecida também como laje BETA-N, onde "N" representa a altura total da laje, resultante da soma em centímetros das espessuras do elemento cerâmico com o capeamento.

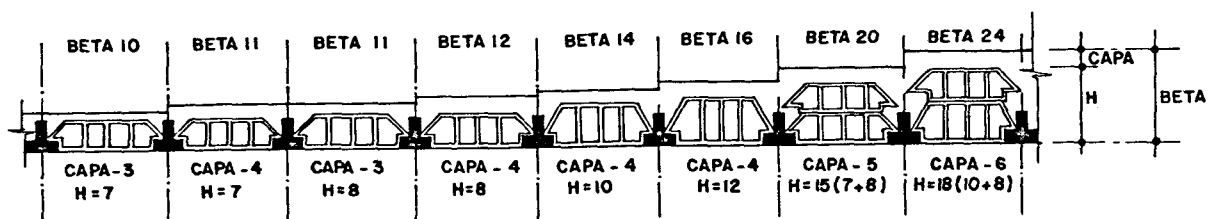


FIGURA 2.5. - LAJE PRÉ-MOLDADA BETA

### 2.2.2. VIGOTES TRELIÇADOS

Vigotes treliçados ou laje treliça, são semi-vigotes de concreto e sua armadura, em forma de treliça, é constituída de aço redondo e eletrosoldado.

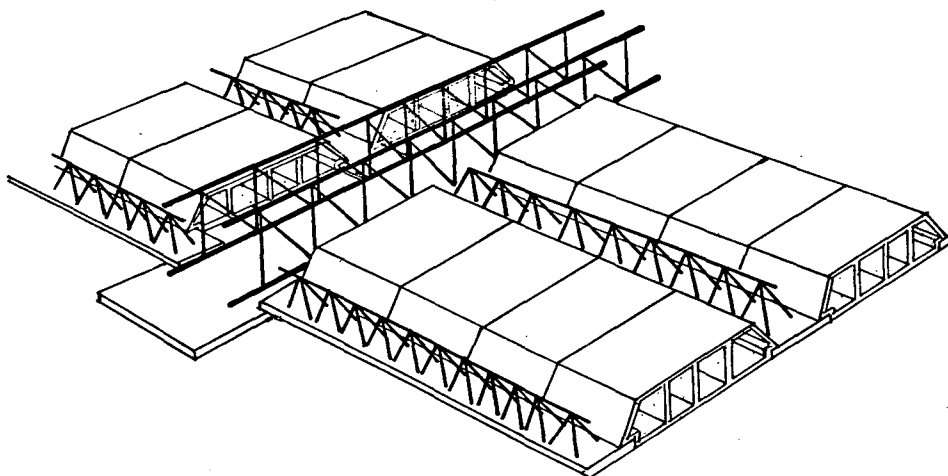


FIGURA 2.6 - VIGOTES TRELIÇADOS (LAJE TRELIÇA)

As vantagens da laje treliça em relação a laje de vigotes comuns está na capacidade de vencer maiores vãos com maior capacidade de carga, tendo em vista que as treliças poderão ter suas alturas aumentadas em função dessas imposições. Além disso, as treliças colaboram eficazmente na união entre o vigote e o concreto adicionado em obra, proporcionando um maior monolitismo da laje e aumentando sua capacidade de resistência ao cisalhamento.

### 2.2.3. VIGOTES DE CONCRETO PROTENDIDO

Os vigotes de concreto armado podem ser substituídos pelos vigotes de concreto protendido, pois apresentam certas vantagens, em relação aos de concreto armado, quais sejam:

- \* maiores vãos com maior capacidade de carga;
- \* melhor comportamento com relação ao cisalhamento;
- \* menores flechas com grande redução da fissuração excessiva.



A única desvantagem, por assim dizer, é com respeito ao seu maior custo proveniente da necessidade do uso de aços especiais para protensão e as instalações para sua fabricação, em pistas, que requerem grandes investimentos iniciais.

A execução desses vigotes é feita pelo processo da protensão com aderência inicial, que consiste em tracionar-se a armadura antes do lançamento do concreto. Após o concreto adquirir certa resistência, liberam-se os cabos tracionados proporcionando a pré-compressão do concreto

A tipologia mais comum, neste caso, é a das lajes alveolares mostrada abaixo:

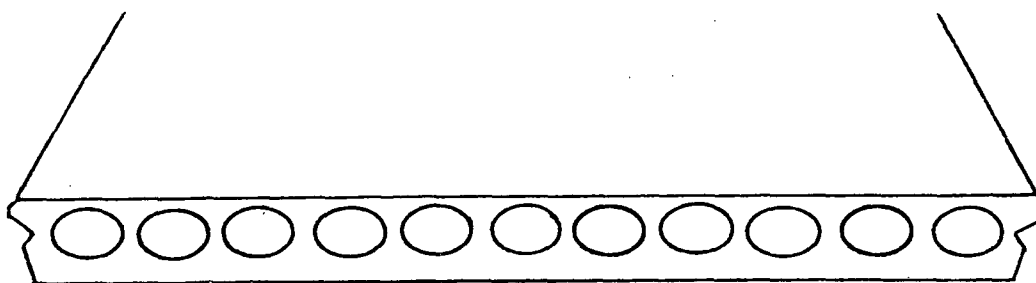


FIGURA 2.7. - LAJE ALVEOLAR DE CONCRETO PROTENDIDO

### 2.3. ELABORAÇÃO DO PROJETO

Ao projetar-se uma laje pré-moldada, deve-se observar os tipos de vínculos que surgem nas ligações da laje com os elementos estruturais (vigas e ou paredes) que a suportam, bem como a posição da laje contígua e a direção de seus vigotes. Estas condições podem ser assimiladas como apoio simples, engastes parciais ou engastes perfeitos.

Quando ocorrem apoios simples, nessas ligações, a laje é considerada apoiada, sem o surgimento de momentos negativos nesses vínculos. Ressalta-se que em todas as lajes pré-moldadas, deve-se levar em consideração, para efeito de cálculo dos vigotes, esta hipótese.

Em alguns casos, quando as condições de apoio possibilitam a continuidade, pode-se considerar um certo grau de engastamento, a fim de possibilitar uma maior capacidade de trabalho da laje. Isso provoca uma redução dos momentos fletores positivos, permitindo maiores vãos com maior capacidade de carga. Portanto, a hipótese de aproveitar-se as lajes pré-moldadas não só como estruturas biapoiadas, mas também como estruturas engastadas é uma possibilidade a ser analisada.

Normalmente o projeto de lajes com vigotes pré-moldados inicia pela escolha da direção do vigote que, regra geral, é posicionado paralelo ao menor vão da laje. Isso só é alterado quando a consideração de engastamento for mais favorável. Neste caso, o vigote é posicionado na direção do maior vão.

Os engastes, tanto os parciais como os perfeitos, geram momentos fletores negativos, que deverão ser combatidos por armadura disposta na face superior do capeamento.

A adoção do engastamento nessas lajes, deve ser cuidadosamente verificada no dimensionamento, pois nesse caso os esforços de compressão estão abaixo da linha neutra da laje, onde somente o concreto e o aço dos vigotes irão resistir, o que pode ser insuficiente.

## 2.4. DETALHES DE PROJETO

Ao especificar este tipo de laje pré-moldada, o projetista de estruturas deve observar os detalhes relativos ao posicionamento dos vigotes em obra, seus vínculos com os outros elementos estruturais, que poderão ser apoios simples ou engastes (parciais ou perfeitos), balanços para formação de sacadas, marquizes e beirados, e de paredes apoiadas diretamente sobre a laje, o que neste caso requer, muitas vezes, colocação de vigotes extras ou execução de viga de concreto armado embutida na laje (viga chata). Quanto aos vínculos, pode-se considerar os seguintes casos:

### 2.4.1. APOIO SIMPLES

São as lajes apoiadas diretamente sobre vigas ou paredes, e que, sobre estas vigas ou paredes, não se apoiam outras paredes. Neste caso, estão os bordos periféricos das lajes de cobertura, ou, lajes de forro:

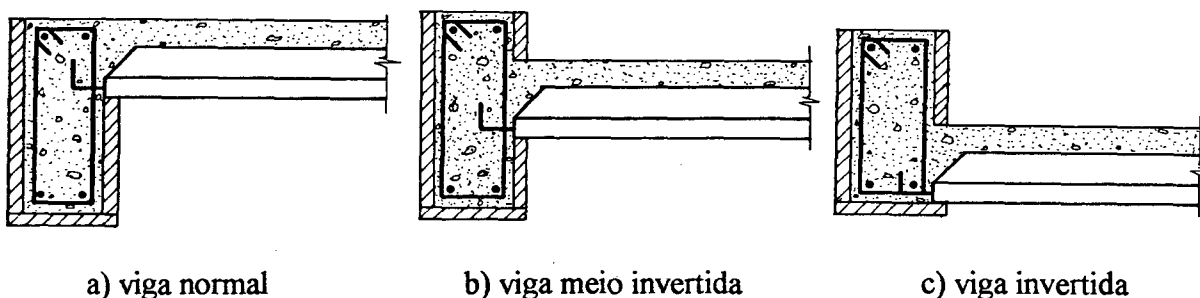


FIGURA 2.8. - APOIOS SIMPLES

### 2.4.2. ENGASTES PARCIAIS

São os bordos periféricos de uma laje de piso, onde, sobre eles, são levantadas paredes para execução do piso superior. As lajes em desnível ou rebaixadas, podem também estar enquadradas neste caso.

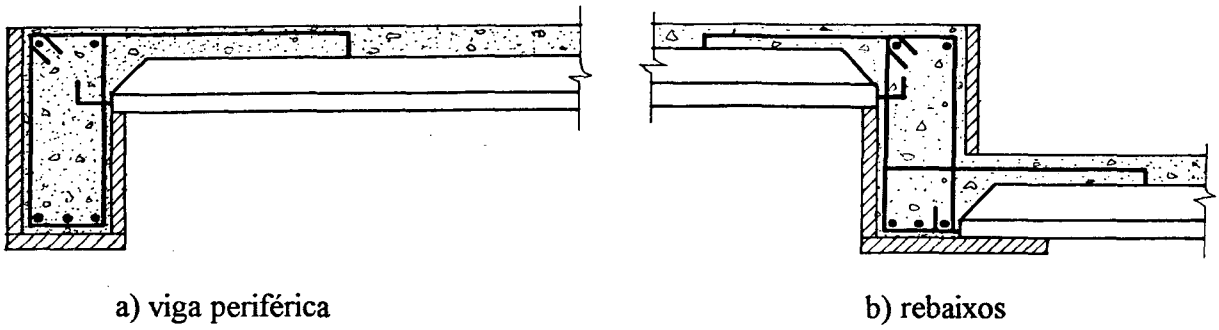


FIGURA 2.9. - ENGASTES PARCIAIS

### 2.4.3. ENGASTES PERFEITOS

Os engastes perfeitos são admitidos, no caso das lajes pré-moldadas, pela sua continuidade, isto é, duas lajes contíguas (se interengastam) no mesmo nível.

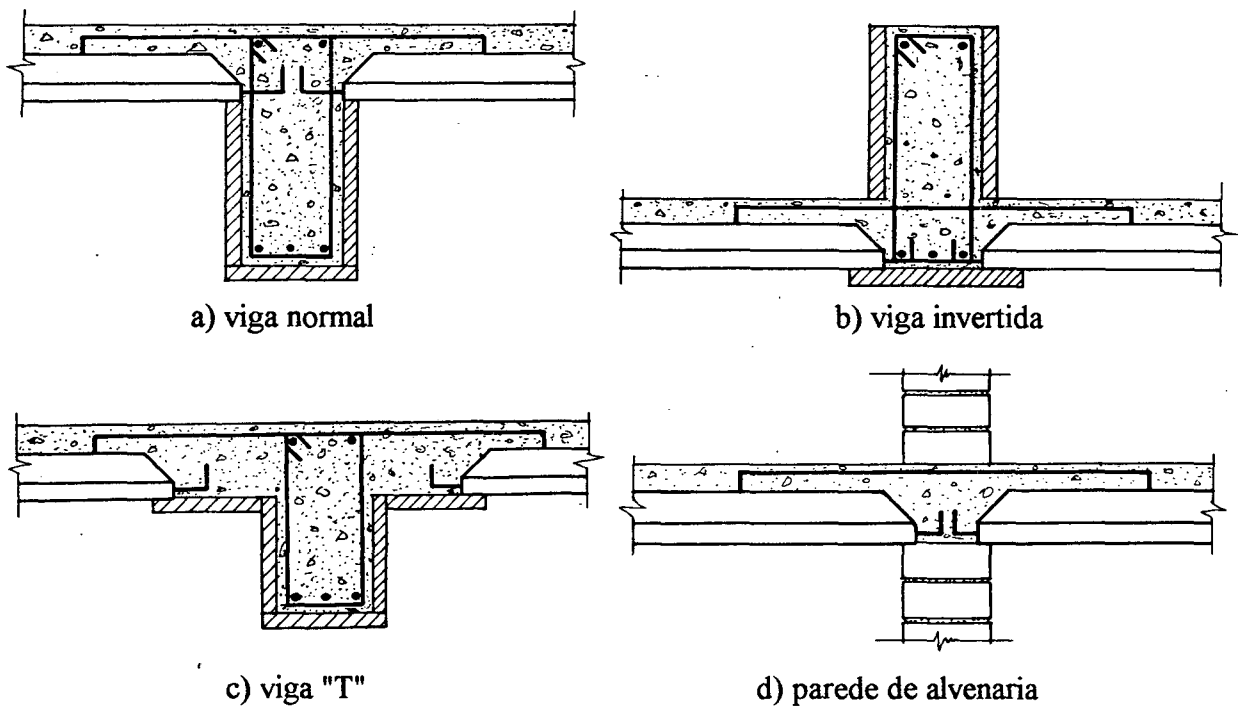


FIGURA 2.10. - ENGASTES PERFEITOS

### 2.4.4. PAREDE APOIADA DIRETAMENTE SOBRE A LAJE

#### 2.4.4.1. PAREDE PARALELA AOS VIGOTES

Neste caso, há necessidade de colocação de vigotes extras, situados lado a lado, ou, execução de viga com a mesma espessura da laje (viga chata), a fim de evitar deformações excessivas.

Os vigotes deverão ser dimensionados para absorver estes esforços e o capeamento terá uma armadura suplementar para auxiliar a compressão.

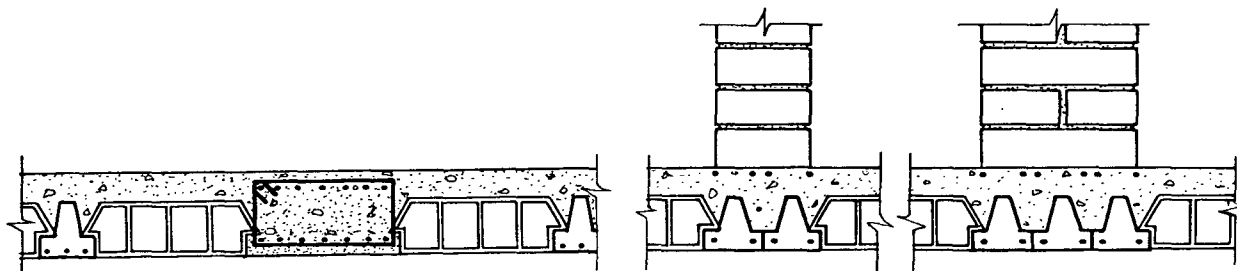


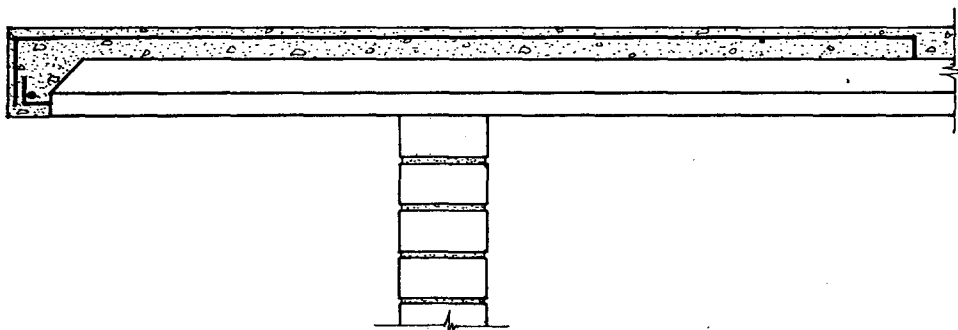
FIGURA 2.11. - PAREDES PARALELAS AOS VIGOTES

#### 2.4.4.2. PAREDE PERPENDICULAR AOS VIGOTES

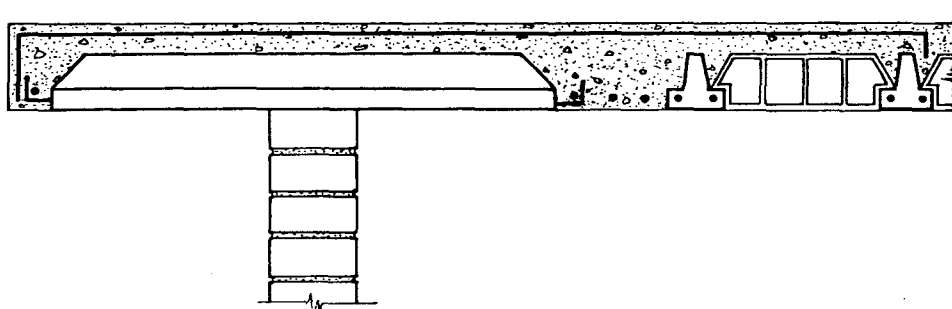
Neste caso, a carga da parede fica distribuída sobre a laje. Para o dimensionamento dos vigotes, deve ser levada em consideração a carga adicional, para que a deformação seja compatível ao normalizado.

#### 2.4.5. FORMAÇÃO DE BALANÇOS

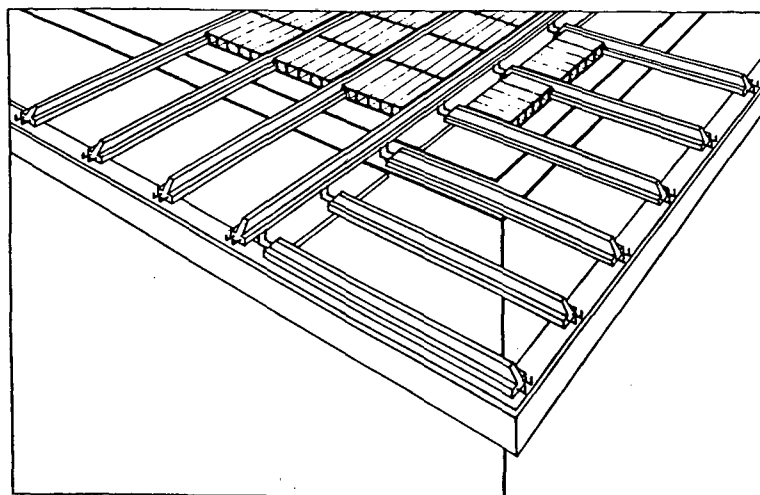
Os balanços podem ser formados pelo avanço direto dos vigotes ou por vigotes em balanço.



a) no sentido do vigote



b) no sentido perpendicular ao vigote



c) encontro de balanços

FIGURA 2.12. - BALANÇOS

## 2.5. INTERPRETAÇÃO DO PROJETO

Com a entrega dos vigotes e blocos cerâmicos em obra, o fabricante fornece um projeto, detalhando também a colocação dos vigotes, observando-se que os mesmos devem ser posicionados, preferencialmente, sempre paralelos a menor dimensão da laje. Existem casos particulares em que esta condição não é possível, como será visto no Capítulo 5.

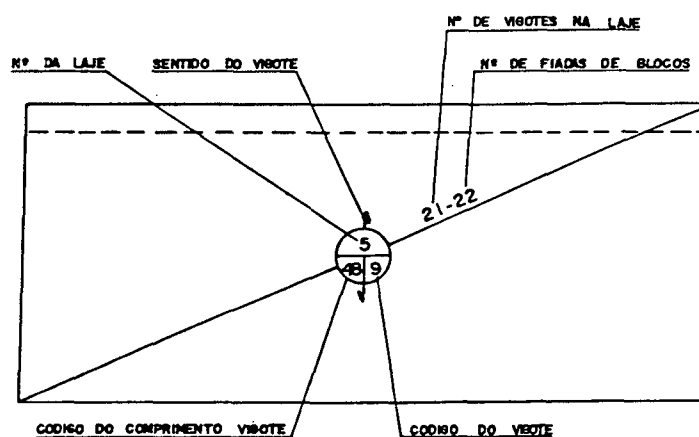


FIGURA 2.13. - CODIFICAÇÃO PARA LAJE PRÉ-MOLDADA

1. Armadura de distribuição: especifica-se o diâmetro do fio de aço e seu espaçamento;
2. Armadura negativa: especifica-se seu posicionamento, diâmetro e espaçamento;
3. Sentido (longitudinal) do vigote;
4. Número da laje;
5. Quantidade de vigotes na laje;
6. Quantidade de fiadas de blocos cerâmicos;

7. Código do comprimento do vigote na laje. Multiplicado por 10 fornece o comprimento do vigote (em centímetros);
8. Código do vigote: cada vigote tem um local e função específica na laje. O código orienta sua colocação, pois num mesmo projeto pode haver vigotes de igual comprimento mas com diferentes funções estruturais.

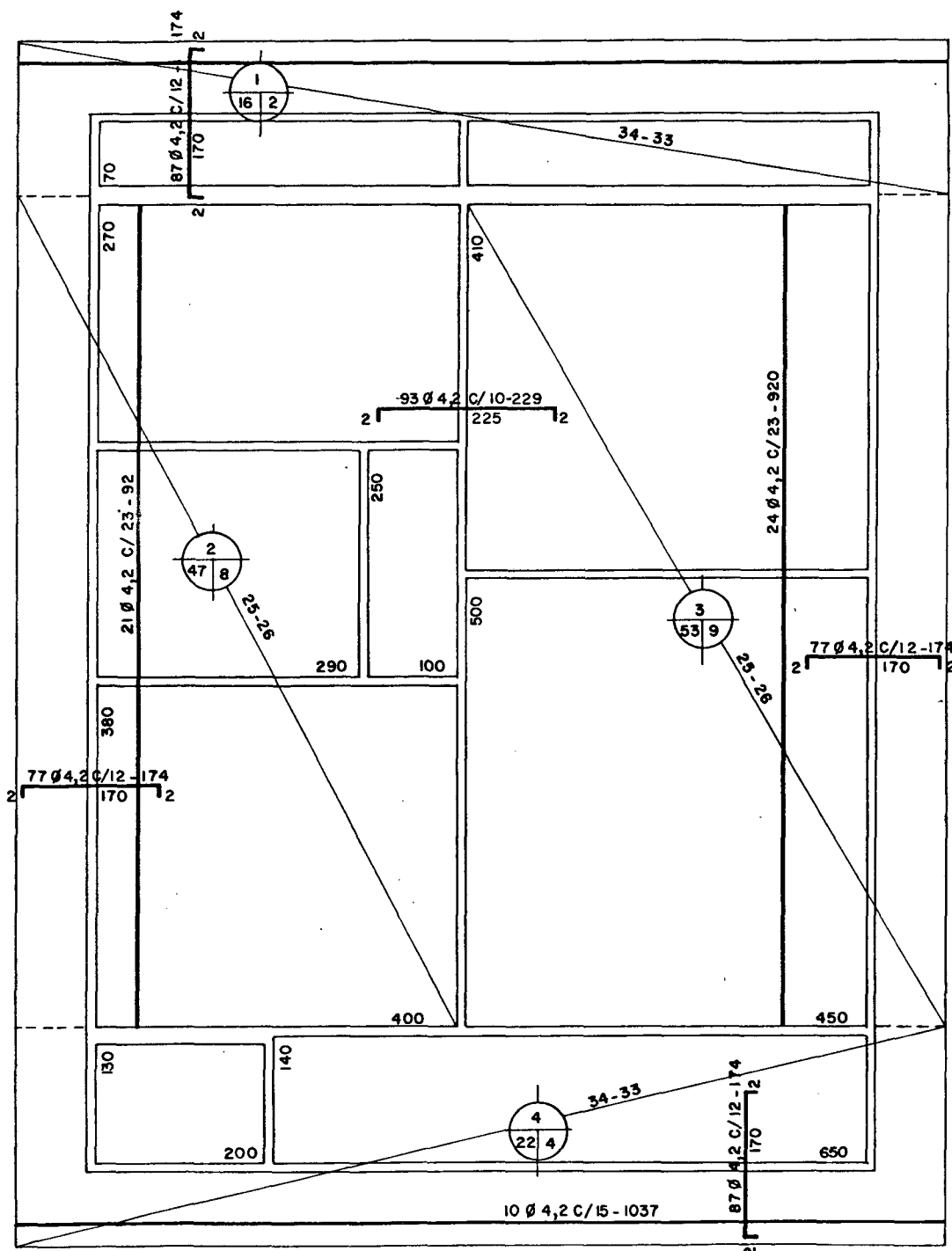


FIGURA 2.14. - PROJETO DE LAJE PRÉ-MOLDADA

## **CAPÍTULO 3**

### **DIMENSIONAMENTO**

O projeto estrutural define o arranjo e a geometria dos elementos, suas propriedades físicas e as ações ou cargas a que estão sujeitos, considerando as exigências do projeto arquitetônico.

O lançamento da estrutura, no caso de lajes com vigotes pré-moldados, inicia pela definição da posição das vigas que suportarão as lajes, seguindo pela escolha da direção dos vigotes que, em geral, coincidem com o menor vão, como visto no Capítulo 2, finalizando pela escolha da posição dos pilares.

O dimensionamento define os elementos estruturais, a verificação de suas deformações, a avaliação da nocividade da fissuração, e sua capacidade de resistir ao cisalhamento.

#### **3.1. SEGURANÇA ESTRUTURAL**

Os critérios e requisitos de desempenho, que devem ser atendidos para proporcionar um grau de segurança e solidez aos elementos da edificação, são fixados em norma, visando garantir que estes não atinjam os estados que comprometam sua estabilidade. (MARCELLINO, 1991)

As lajes pré-moldadas com vigotes de concreto armado, apesar de não estarem diretamente vinculadas a uma determinada norma, devem ser projetadas, dimensionadas e verificadas de acordo com o prescrito nas seguintes normas (ABNT):

- NB 862 - Ações e Segurança nas Estruturas (NBR 8681/84);
- NB 1 - Projeto e Execução de Obras em Concreto Armado (NBR 6118/82);
- NB 4 - Cálculo e Execução de Lajes Mistas (NBR 6119/80);
- NB 5 - Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações (NBR 6120/80);
- NB 116 - Projeto de Estruturas de Concreto Protendido (NBR 7197/89).
- NB 949 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado (NBR- 9062/85);

Estas exigências tem a finalidade de garantir a segurança das estruturas e de permitir o estabelecimento de parâmetros para aceitação de seu comportamento, frente as condições de serviço.

### 3.2. ESTADOS LIMITES

Os estados que uma estrutura pode atingir, são prescritos pelo item 3 da NB - 862, que define:

#### 1. ESTADO LIMITE DE UMA ESTRUTURA

Estado a partir do qual a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção;

#### 2. ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Estado que, pela simples ocorrência, determina a paralização, parcial ou total, do uso da construção. Corresponde a ruína por ruptura, por deformação plástica excessiva ou por instabilidade;

#### 3. ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO

Estado que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da edificação ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura. Neste estado, há grande probabilidade de formação de fissuras inaceitáveis e de deformação excessiva.

Conforme a norma, as hipóteses de cálculo que se relacionam com as solicitações de serviço são:

- as seções transversais permanecem planas após a deformação.
- os casos possíveis de deformação, para peças sujeitas a flexão simples são os representados pelos domínios 2, 3 e 4 da figura 7 da NB - 1, a saber:

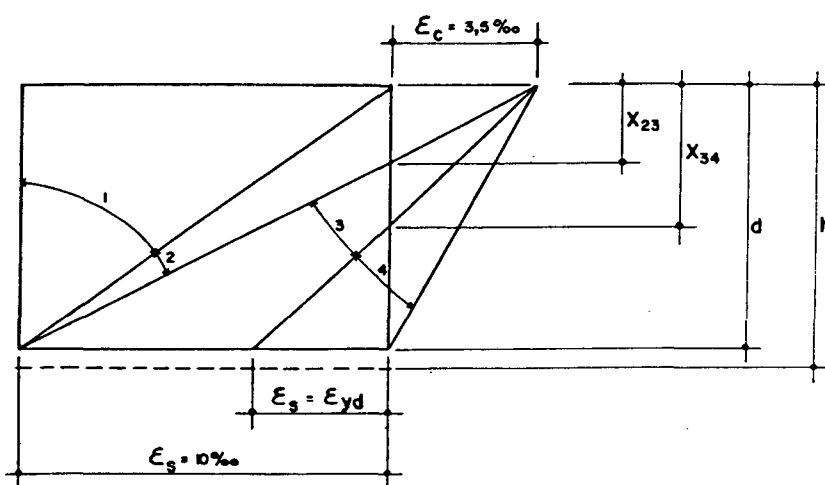


FIGURA 3.1. - DOMÍNIO DAS DEFORMAÇÕES



Domínio 1 - tração não uniforme, sem compressão;

Domínio 2 - sem ruptura do concreto à compressão:

$$\epsilon_c < 3,5 \text{ ‰} \quad \text{e} \quad \epsilon_s = 10 \text{ ‰}$$

Domínio 3 - com ruptura do concreto à compressão e com escoamento do aço:

$$\epsilon_c = 3,5 \text{ ‰} \quad \text{e} \quad \epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$$

Domínio 4 - com ruptura à compressão do concreto e aço tracionado sem escoamento:

$$\epsilon_c = 3,5 \text{ ‰} \quad \text{e} \quad \epsilon_s < \epsilon_{yd}$$

- c. O encurtamento convencional de ruptura do concreto, nas seções não inteiramente comprimidas, é igual a 3,5 ‰ ;
- d. O alongamento máximo permitido, ao longo da armadura de tração mais próxima da borda tracionada, é de 10 ‰ ;
- e. A distribuição de tensões no concreto, se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo da figura 8 da NB - 1, baseado no diagrama tensão-deformação simplificado da figura 31 da mesma norma, e pode ser substituído por um diagrama retangular, de altura  $y = 0,8 \cdot x$ , com a seguinte tensão:

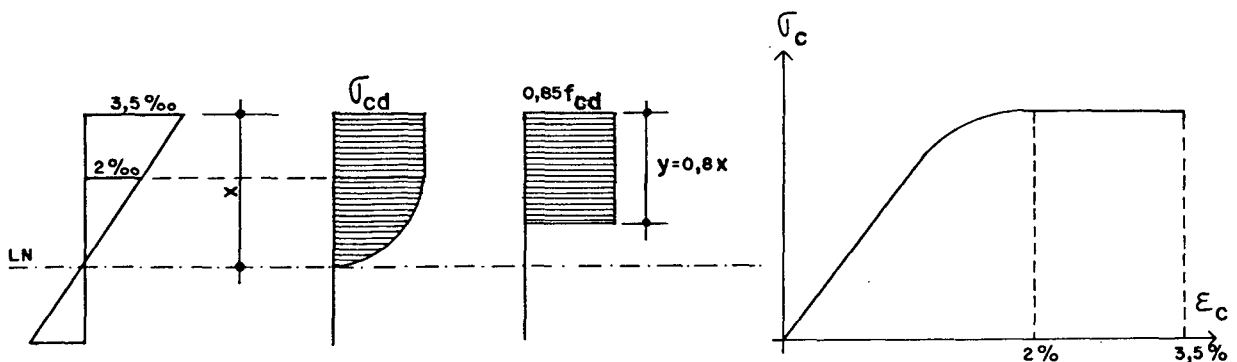


FIGURA 3.2. - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NO CONCRETO

- f. A resistência à tração no concreto é desprezada;
- g. A tensão na armadura é a correspondente à deformação, determinada de acordo com a posição da linha neutra (LN). Os diagramas adotados nos cálculos são os mostrados pelas figuras 28 e 30 da NB - 1, conforme a categoria do aço;

- h. Os coeficientes de minoração das resistências dos materiais,  $\gamma_c$  para o concreto e  $\gamma_s$  para o aço, são tomados como 1,4 e 1,15 respectivamente. Para peças pré-moldadas em indústrias, executadas com cuidados rigorosos, o coeficiente  $\gamma_c$  pode ser reduzido para 1,3 (item 5.4.1 da NB-1). O coeficiente de majoração  $\gamma_f$ , adotado para as solicitações, é de 1,4.

A condição de segurança em relação ao estado limite último, é tal que, a resistência de cálculo ( $R_d$ ), deve ser maior ou igual a solicitação de cálculo ( $S_d$ ), isto é:

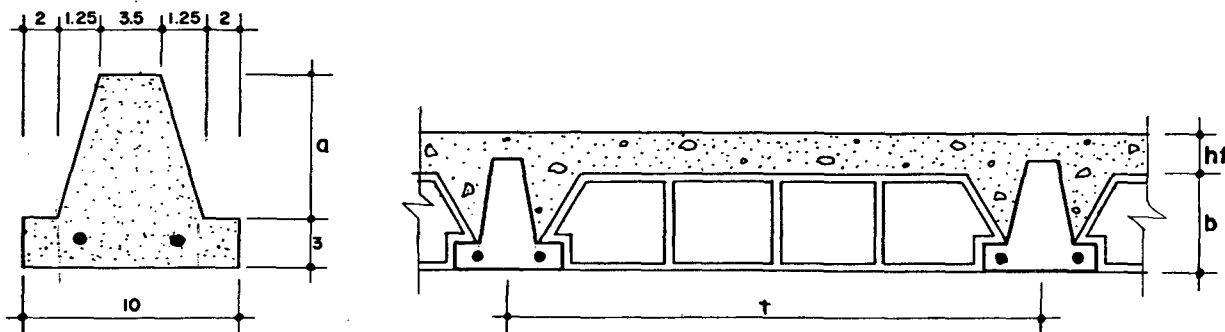
$$R_d \geq S_d = \gamma_f \cdot S_k$$

### 3.3. INDICAÇÕES PARA UM ROTEIRO DE DIMENSIONAMENTO

#### 3.3.1. DISPOSIÇÕES GERAIS

As lajes pré-moldadas com vigotes de concreto armado são unidirecionais, isto é, armadas numa única direção. O seu dimensionamento é executado de acordo com o prescrito em normas, considerando os Estados Limites Últimos e de Utilização.

Para o roteiro proposto, considera-se como sugestão, as seguintes dimensões para o vigote e laje:



$a = 5, 6 \text{ e } 7 \text{ cm}$

$b = 7, 8, 10, 12, 15 \text{ e } 18 \text{ cm}$

$h_f = 3 \text{ a } 6 \text{ cm}$

$t \leq 50 \text{ cm}$

FIGURA 3.3. - DIMENSÕES USUAIS DO VIGOTE E LAJE

Para a ação dos momentos fletores positivos ( $M$ ), o cálculo para dimensionamento é efetuado como viga de seção "T" (item 5.2.2 da NB - 4), tomando-se para a largura da mesa ( $b_f$ ), o valor do inter-eixo entre vigotes. Para momentos fletores negativos ( $X$ ), é calculada como seção retangular com largura  $b_w$  equivalente à uma nervura, adotando-se a medida de 7 cm (Figura 3.3).

Este dimensionamento deve obedecer aos estados limites, como disposto nas normas, e, a zona resistente à compressão é constituída pelo capeamento com espessura mínima de 3 cm. A distribuição das tensões do concreto na seção se faz de acordo com o diagrama retangular simplificado de altura igual a  $0,8 \cdot x$  e tensão de  $0,85 \cdot f_{cd}$ , como mostra a figura 3.2.

Os blocos cerâmicos não são levados em consideração para efeito de cálculo, servindo unicamente como base para o concreto do capeamento. Esta hipótese, deve-se ao fato de que estes tijolos, por suas próprias características e elevado índice de vazios, possuírem baixa resistência mecânica.

### 3.3.2. CARREGAMENTO

Como cargas atuantes sobre a laje consideram-se:

#### PESO PRÓPRIO

É avaliado em função do peso específico dos materiais que compõem a laje. Para o concreto adota-se  $25 \text{ kN/m}^3$  ( $2500 \text{ kgf/m}^3$ ) e para os blocos cerâmicos,  $6 \text{ kN/m}^3$  ( $600 \text{ kgf/m}^3$ ), conforme NB - 5.

#### REGULARIZAÇÃO E REVESTIMENTO DE PISO

A regularização constitui-se de uma camada de argamassa de cimento e areia com espessura média de 2 cm, servindo para corrigir as possíveis imperfeições na parte superior da laje, principalmente no que diz respeito ao nivelamento.

O revestimento de piso, que tanto pode ser com materiais rochosos, assoalhos de madeira ou mesmo do tipo forração (carpete), exige do projetista da estrutura, face a estas possíveis variações na escolha do tipo de revestimento, determinar com exatidão a carga atuante.

Quando isto não for possível, recomenda-se que seja adotado como sendo de  $0,8 \text{ kN/m}^2$  ( $80 \text{ kgf/m}^2$ ), correspondente a camada de regularização do piso, do próprio piso e sua argamassa de assentamento.

### REVESTIMENTO DO TETO

O revestimento (emboço e reboco) da face inferior da laje, com espessura média de 1,5 cm, em argamassa de cimento, cal e areia, pode ser adotado como  $0,3 \text{ kN/m}^2$  ( $30 \text{ kgf/m}^2$ ).

### CARGA ACIDENTAL

De acordo com a NB - 5, para edifícios residenciais ou com ocupação semelhante, existem cargas diferenciadas, conforme o tipo de utilização da laje.

Dormitório, sala, copa, cozinha e banheiro	$1,5 \text{ kN/m}^2$
Despensa, área de serviço e lavanderia	$2,0 \text{ kN/m}^2$
Escritórios	$2,0 \text{ kN/m}^2$
Forro (sem acesso a pessoas)	$0,5 \text{ kN/m}^2$

O somatório de todo este carregamento é a carga total atuante sobre a laje, servindo para a determinação dos esforços solicitantes e de suas reações. Para obter-se a carga por faixa de vigote, multiplica-se o carregamento pelo valor do inter-eixo.

### 3.3.3. MOMENTOS FLETORES E ESFORÇOS CORTANTES

Para obtenção dos valores destas solicitações internas, leva-se em consideração os tipos de vínculos das lajes que podem ser apoios simples ou engastes. Considerada como armada numa única direção, os vigotes devem, preferencialmente, serem dispostos paralelamente à menor dimensão da laje.

De acordo com a Estática, encontram-se para momentos máximos positivos  $M_k$  (região central), para momentos negativos  $X_k$  (no engaste) e para esforço cortante  $V$  (região dos apoios), para laje armada numa única direção, considerando os vínculos como apoio ou engaste perfeito, os seguintes valores:

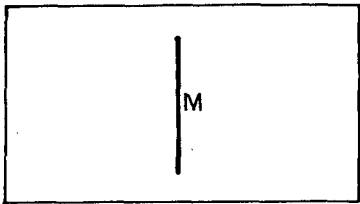
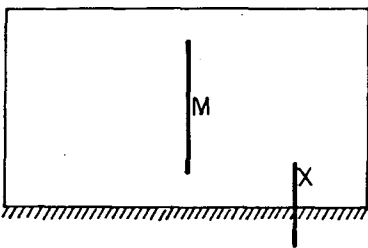
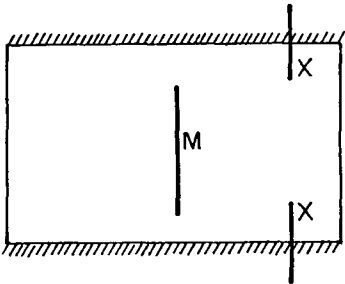
BI-APOIADA	APOIADA-ENGASTADA	BI-ENGASTADA
		
$M_k = \frac{pl^2}{8}$	$M_k = \frac{pl^2}{14,22}$	$M_k = \frac{pl^2}{24}$
$X_k = 0$	$X_k = -\frac{pl^2}{8}$	$X_k = -\frac{pl^2}{12}$
$V = \frac{pl}{2}$	$V = \frac{pl}{2} \pm \frac{X_k}{1}$	$V = \frac{pl}{2}$

FIGURA 3.4. SOLICITAÇÕES EM LAJES

Recomenda-se, como procedimento usual, que estas lajes sejam calculadas como bi-apoiadas, com a existência somente de momentos positivos ( $M_k$ ). Esta consideração, deve-se a deficiência da laje em absorver os esforços de compressão que passam a existir na sua parte inferior, onde somente o concreto dos vigotes irão resistir.

Para momentos negativos ( $X_k$ ), quando for o caso, havendo o alinhamento entre os vigotes de lajes adjacentes, considera-se a vinculação existente, adotando um determinado grau de engastamento.

### 3.3.4. DIMENSIONAMENTO DO VIGOTE A MOMENTO FLETOR POSITIVO

Com as prescrições normativas dos domínios 2 e 3 e com o valor do momento fletor positivo de cálculo ( $M_d = \gamma_f \cdot M_k$ ), dimensiona-se o vigote à flexão considerando-o como viga de seção "T", onde a atuação do momento se dá por faixa de vigote, correspondendo a largura da mesa  $b_f$  (inter-eixo). Considera-se ainda,  $b_w$  = largura da nervura,  $h_f$  = espessura do caapeamento e  $d = h - (c + \phi/2)$  cm, sendo "c" o cobrimento da armadura  $A_s$ .

### 3.3.4.1. POSIÇÃO DA LINHA NEUTRA

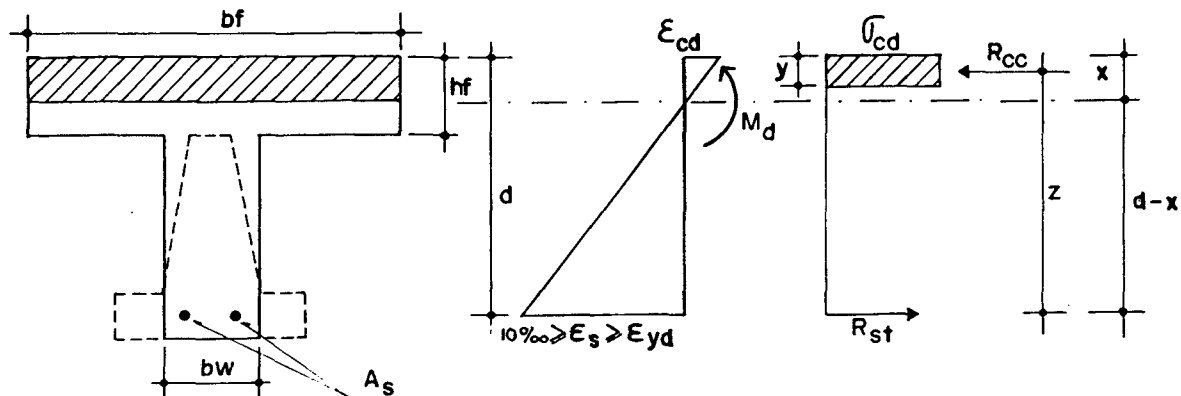


FIGURA 3.5. - HIPÓTESE DE CÁLCULO

$R_{cc}$  - Resultante de compressão do concreto

$R_{st}$  - Resultante de tração na armadura

$$z = d - \frac{y}{2}$$

$$y = 0,8 \cdot x \quad (\text{item 4.1.1.1.d - NB-1}) \quad (1)$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$R_{cc} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot y$$

$$R_{st} = A_s \cdot \sigma_{sd}$$

O equilíbrio entre o momento de ruptura ( $M_d$ ), atuando por faixa de vigote, correspondendo ao inter-eixo entre os mesmos e o sistema de forças, fornece:

$$M_d = R_{cc} \cdot z \quad \text{sendo} \quad M_d = \gamma_f \cdot M_k$$

$$M_d = (0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot y) \cdot \left(d - \frac{y}{2}\right)$$

$$M_d = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot f_{cd} \cdot d \cdot y - 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot \frac{y^2}{2}$$

$$2M_d = 1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot d \cdot y - 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot y^2$$

$$(0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_f) \cdot y^2 - (1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot d) \cdot y + 2M_d = 0$$

$$y = d - \frac{\sqrt{(1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot d)^2 - 6,8 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot M_d}}{1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f} \quad (2)$$

( $f_{cd}$  em MPa,  $M_d$  em hNcm,  $b_f$  e  $d$  em cm)

sendo 1 hN = hectoNewton = 0,1 kN ou 1 kN = 10 hN

- se  $y \leq h_f$  confirma-se a hipótese de viga de seção "T", sem apresentar esforços de compressão na nervura, dimensionando-se como viga de seção retangular de largura  $b_f$
- se  $y > h_f$  aumenta-se a espessura do capeamento. Caso ainda permaneça esta condição, torna-se necessário o aumento da espessura da laje, com o emprego de blocos com maior altura para evitar o cálculo como viga de seção "T".

### 3.3.4.2. ARMADURA DOS VIGOTES PARA $y \leq h_f$

As condições de equilíbrio entre as forças no sistema de tensões apresentado na figura 3.5, fornece:

$$M_d = R_{st} \cdot z$$

$$M_d = A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot z$$

$$z = d - \frac{y}{2}$$

$$M_d = A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot \left(d - \frac{y}{2}\right)$$

$$A_s = \frac{2M_d}{\sigma_{sd} \cdot (2d - y)}$$

Considerando a tensão na armadura constante durante o escoamento, tem-se:

$$\sigma_{sd} = f_{yd}$$

$$A_s = \frac{2M_d}{f_{yd} \cdot (2d - y)} \quad (\text{cm}^2/\text{vigote}) \quad (3)$$

( $M_d$  em hN cm,  $f_{yd}$  em MPa,  $d$  e  $y$  em cm)

$$A_s \geq A_{smin}$$

$$A_{smin} = 0,0015 \cdot b_w \cdot h \quad (\text{cm}^2/\text{vigote}) \quad (4)$$

Conhecida a posição da linha neutra, é necessário verificar o alongamento do aço ( $\epsilon_s$ ), que não pode ser superior a 10 ‰ nem inferior a  $\epsilon_{yd}$  (Figura 3.5):

$$\epsilon_s \leq 10 \text{ ‰} \quad \text{e} \quad \epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$$

Se  $\epsilon_s = 10 \text{ ‰}$  e  $\epsilon_c < 3,5 \text{ ‰}$  a peça está no domínio 2 e poderá ser dimensionada com estas hipóteses.

Se  $\epsilon_s < \epsilon_{yd}$  a seção é superarmada e, para evitar estas condições, é necessário aumentar a espessura do capeamento ou da própria laje.

### 3.3.5. DIMENSIONAMENTO A MOMENTO FLETOR NEGATIVO

As armaduras negativas, calculadas em função dos momentos flettores negativos e como seção retangular com largura ( $b_w$ ) igual a da nervura, considerada para efeitos de dimensionamento, com 7 cm de espessura (Figura 3.3), devem ser distribuídas sobre toda a extensão do engaste e permanecendo numa posição em que o cobrimento máximo seja de 1 cm.

Deve-se observar também, que somente os vigotes irão resistir aos esforços de compressão oriundos da flexão, pois a linha neutra, neste caso, estará situada abaixo do capeamento.

#### 3.3.5.1. POSIÇÃO DA LINHA NEUTRA

Conforme item 3.3.4 tem-se:



$$y = d - \frac{\sqrt{(1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot d)^2 - 6,8 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot M_d}}{1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f}$$

$$A_s = \frac{2 M_d}{f_{yd} \cdot (2d - y)} \quad (\text{cm}^2/\text{vigote})$$

$$A_s \geq A_{smin}$$

$$A_{smin} = 0,0015 \cdot b_w \cdot h \quad (\text{cm}^2/\text{vigote})$$

A distribuição da armadura, por metro de laje é obtida dividindo-se a área da armadura correspondente, pelo valor do inter-eixo ( $b_f$ ):

$$A_{s\text{negativa}} = \frac{A_s}{b_f} \quad (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (5)$$

O comprimento da armadura, conforme o item 3.3.2.7.b da NB-1 é de 0,25 do maior vão (25% do maior vão), devendo entretanto, ser verificado o comprimento de ancoragem.

### 3.3.6. CISALHAMENTO

A verificação do esforço cortante se faz de acordo com o anexo a norma NB 116/89, que modifica dispositivos da NB - 1. Para que não haja necessidade de armadura transversal (estribos), para resistir aos esforços de tração oriundos do cisalhamento é necessário, que a desigualdade a seguir, seja verificada.

$$\tau_{wd} \leq \tau_{wu1} \quad (6)$$

$\tau_{wd}$  - tensão convencional de cisalhamento de cálculo

$\tau_{wu1}$  - valor último de  $\tau_{wd}$

Não sendo observada esta condição, implica no aumento do  $f_{ck}$  ou da espessura do capeamento ou da própria espessura da laje.

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} \quad (7)$$

$V_d$  - esforço cortante de cálculo ( $V_d = \gamma_f \cdot V$ )

$b_w$  - espessura da nervura

$$\tau_{wul} = \psi_4 \cdot \sqrt{f_{ck}} < 1 \quad (8)$$

$$\psi_4 = 0,12 \cdot \frac{\alpha \cdot k}{1 - 3d/L} \quad \text{para } d > \frac{L}{20} \quad (9A)$$

$$\psi_4 = 0,14 \cdot \alpha \cdot k \quad \text{para } d \leq \frac{L}{20} \quad (9B)$$

$L$  - vão teórico

$$\alpha = 1 + 50 \cdot \rho_1$$

$$k = 1,6 - d \geq 1 \quad (\text{com } d \text{ em metros})$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w \cdot h}$$

O produto  $\alpha \cdot k$  limita-se ao valor de 1,75 ( $\alpha \cdot k \leq 1,75$ )

### 3.3.7. ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO

De acordo com o item 4.1.3.2 da NB-4, a armadura de distribuição, para lajes mistas, cujo inter-eixo deverá ser menor ou igual a 50 cm, é de 0,6 cm<sup>2</sup>/m para aços CA 50 e CA 60, contendo pelo menos, 3 barras por metro de laje, dispostas no sentido transversal aos vigotes. Deverá estar posicionada sobre os blocos cerâmicos e permitir o cobrimento total da armadura.

Conforme a NB-1 em seu item 6.3.1.1, para lajes nervuradas, onde o inter-eixo pode ser até 1,00 m, a armadura de distribuição será:

$$A_{sdist} = 0,9 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{ou} \quad 1/5 A_s$$

Para estas lajes, onde os espaçamentos entre nervuras devem ser menores, pode-se adotar as recomendações da NB-4.

Para o aço CA 60, adota-se, conforme a EB-3/85, os seguintes espaçamentos:

TABELA 3.1 ESPAÇAMENTO ENTRE AS BARRAS PARA  $0,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

$\varnothing \text{ mm}$	Espaçamento entre barras (cm)
3,2	13
3,4 *	15
4,0	21
4,2 *	23
4,6 *	28
5,0	33

\* Diâmetros comerciais não especificados por norma.

Para fixar esta armadura, dispõem-se, no sentido paralelo aos vigotes, uma armadura complementar de amarração, com aço de 3,4 mm, entre cada vigote.

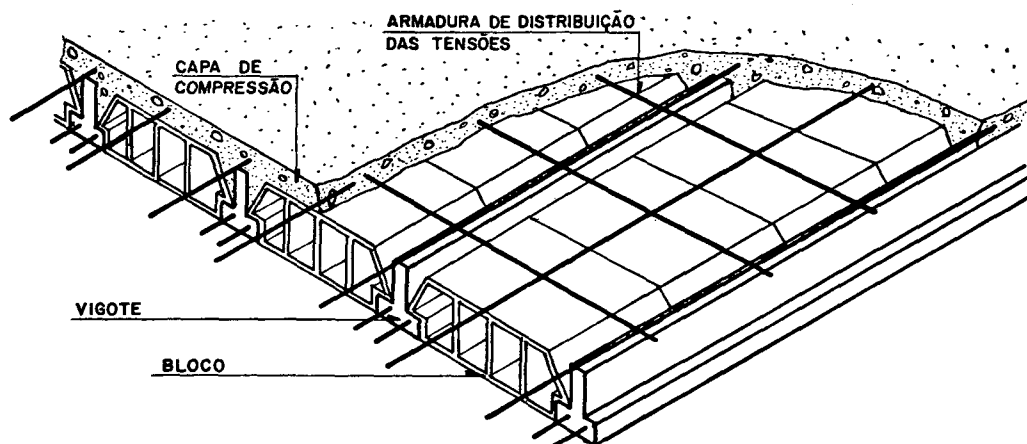


FIGURA 3.6 - ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO

### 3.4. VERIFICAÇÕES

As verificações são efetuadas, com respeito a fissuração e deformação excessivas e deverão ser de acordo com o prescrito em norma.

### 3.4.1. FISSURAÇÃO

A abertura das fissuras na superfície de uma estrutura de concreto armado, de acordo com a condição de exposição a partir de certos valores, compromete sua utilização, tanto na redução de sua durabilidade como também quanto ao prejuízo que traz a sua estética.

A durabilidade da estrutura fica comprometida por facilitar a penetração de agentes agressivos à armadura e a própria massa de concreto. Assim sendo, a caracterização da abertura de fissura que é prejudicial a durabilidade é, logicamente, função do meio em que está a estrutura.

Desta forma, o estudo da fissuração tem que ser efetuado em duas etapas distintas:

1. Estabelecimento dos valores máximos admissíveis das aberturas das fissuras em função do meio;
2. Estabelecimento de formulação, que permita estimar a abertura provável das fissuras em função das características das peças.

De acordo com as prescrições da NB - 1, em seu item 4.2.2, aparecem duas expressões que pretendem estimar a abertura provável das fissuras. A primeira origina-se da Teoria Básica da Fissuração, que aprecia a formação sistemática de fissuras e a segunda expressão, resultante da Teoria da Dupla Ancoragem, corresponde a formação não sistemática de fissuras (MÖLLICA JR, 1979).

A abertura máxima (w), permitida por norma, visto que estas lajes, por suas próprias características, devem ser protegidas com revestimento e não podem ser aplicadas em meio agressivo é de 0,3 mm.

Faz-se necessário que as desigualdades 1 ou 2 sejam satisfeitas, sendo que a primeira é formulada para fissuração sistemática e a segunda, para as não sistemáticas, onde  $W = 10w$ .

$$w = \frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left( \frac{4}{\rho_r} + 45 \right) \leq 3 \quad (10)$$

$$w = \frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{3\sigma_s}{f_{tk}} \leq 3 \quad (11)$$

$\phi$  - diâmetro das barras

$\sigma_s$  - tensão de tração na armadura em serviço

$\eta_b$  - coeficiente de conformação superficial do aço

$\rho_r$  - taxa geométrica de armadura

$E_s$  - módulo de deformação longitudinal do aço (210 000 MPa)

$f_{tk}$  - resistência característica à tração do concreto

Para que a primeira expressão tenha validade, é necessário que seja satisfeita a condição (MOLLICA JR, 1979):

$$\rho_r = \frac{f_{tk}}{\sigma_s} \quad \text{com} \quad \rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}}$$

$A_s$  - área da armadura de flexão do vigote

$A_{cr}$  - área de concreto que influencia a fissuração

Conforme o anexo a norma NB 116/89, alterando dispositivos da NB-1, a  $A_{cr}$  deve ser constituída por um retângulo cujos lados não distam mais que  $7,5 \phi$  do contorno do elemento da armadura, resultando, para os vigotes, onde o cobrimento é de 0,5 cm, em:

$$A_{cr} = b_w (8\phi + c)$$

De acordo com a figura 3.5, tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_s &= \frac{M_k}{z \cdot A_s} & z &= d - \frac{y}{2} \\ \sigma_s &= \frac{M_k}{(d - \frac{y}{2}) \cdot A_s} \\ \sigma_s &= \frac{2M_k}{(2d - y) \cdot A_s} \end{aligned} \quad (12)$$

Conforme o item 5.2.1.2 da NB-1, devem ser seguidas as prescrições abaixo:

$$f_{tk} = \frac{f_{ck}}{10} \quad \text{para } f_{ck} \leq 18 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 0,06 f_{ck} + 0,7 \text{ MPa} \quad \text{para } f_{ck} > 18 \text{ MPa}$$

Por norma, o coeficiente de conformidade  $\eta_b$ , para barras lisas, é considerado igual a 1. No entanto a AFALA reduz este valor em 20% por considerar este tipo de aço (CA 60), desprovido de qualquer rugosidade ( $\eta_b = 0,8$ ).

A validade da segunda expressão está condicionada a (MOLLICA JR, 1979):

$$\rho_r < \frac{f_{tk}}{\sigma_s}$$

### 3.4.2. DEFORMAÇÃO

A deformação destas lajes não poderá ultrapassar 1/300 do vão teórico (item 4.2.3 - NB-1) e deverá ser verificada nas condições menos favoráveis, isto é, como bi-apoiadas, proporcionando assim, maiores condições de segurança.

A expressão que fornece a flecha, extraída de teoria da Resistência dos Materiais, para cargas uniformemente distribuídas é:

$$a = \frac{5pl^2}{384 E_c I} \quad a = \frac{2pl^2}{384 E_c I} \quad a = \frac{pl^2}{384 E_c I} \quad (13)$$

BI-APOIADA                      APOIADA-ENGASTADA                      BI-ENGASTADA

$p$  - carga total no vigote (peso próprio + carga acidental)

$l$  - vão teórico

$E_c$  - módulo de deformação longitudinal do concreto. Por sugestão, deverá ser reduzido a 50% do módulo original, devido deformação lenta (AFALA, 1991).

$$E_c = 6600 \cdot \sqrt{f_{ck} + 3,5} \quad (\text{item 8.2.5 - NB-1})$$

Devido a deformação lenta:

$$E_c = 3300 \cdot \sqrt{f_{ck} + 3,5} \quad \text{MPa} \quad (14)$$

$I$  - momento de inércia da seção "T"



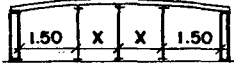
$$I = \frac{b_f \cdot h^3}{\mu} \quad (15)$$

$\mu$  - coeficiente adimensional: para seção "T", pode ser obtido em função de  $b_w$ , de  $b_f$  e da espessura da laje (h) na tabela de LOESER (TABELA 3.3), específica para vigas de seção "T" (LOESER, 1962).

Para estas lajes, exige-se a aplicação de uma contra-flecha (item 5.2.5 - NB-949), que deve ser 1/200 do vão teórico, para lajes com vão superior a 1,80 m.

Recomenda-se ainda, que a verificação a deformação vertical, seja efetuada para as condições menos favoráveis, isto é, como lajes bi-apoiadas.

TABELA 3.2 - CONTRA FLECHA

VÃO (m)	Nº DE ESCORAS	CONTRAFLECHA		POSIÇÃO DAS ESCORAS E CONTRAFLECHA
		ESCORAS CENTRAL	ESCORAS LATERAIS	
ATÉ 1.50	—	—	—	SEM ESCORAS E SEM CONTRAFLECHA
1.51 a 1.80	01	EM NÍVEL	—	 EM NÍVEL OU 1.0/1.5 cm NA ESCORA CENTRAL.
1.81 a 2.00	01	1.0cm	—	
2.01 a 3.00	01	1.5cm	—	 1.5 cm NAS DUAS ESCORAS LOCALIZADAS A 1.50m DE CADA PAREDE.
3.01 a 4.00	02	—	1.5cm	
4.01 a 4.50	02	—	1.5cm	 2.5 cm NA ESCORA DO CENTRO E 2cm NAS ESCORAS A 1.50m DE CADA PAREDE.
4.51 a 5.00	03	2.5cm	2.0cm	
5.01 a 6.00	03	2.5cm	2.0cm	

3.5. ROTEIRO DE DIMENSIONAMENTO SIMPLIFICADO

O dimensionamento pode ser efetuado de maneira simplificada, permitido por norma, com o auxílio de tabelas universais, encontradas em qualquer livro de concreto armado e anexadas no final deste capítulo. As duas maneiras de cálculo chegam a resultados praticamente idênticos.

3.5.1. DIMENSIONAMENTO A MOMENTO FLETOR POSITIVO

Determina-se  $k_c$

$$k_c = \frac{b_f \cdot d^2}{M_d} \tag{16}$$

( $M_d$  em kN·cm,  $b_f$  e d em cm)

Com este valor de  $k_c$  e em função do  $f_{ck}$  e do tipo de aço adotado para os vigotes, encontram-se os valores de  $k_y$  e  $k_s$  tabelados (TABELA 3.4).

### 3.5.1.1. POSIÇÃO DA LINHA NEUTRA

$$y = k_Y \cdot d \quad (\text{cm}) \quad (17)$$

- se  $y \leq h_f$  calcula-se como viga retangular de largura  $b_f$
- se  $y < h_f$  aumenta-se a espessura do capeamento ou, se necessário, a espessura total da laje.

### 3.5.1.2. ARMADURA DOS VIGOTES

$$A_s = k_s \frac{M_d}{d} \quad (\text{cm}^2/\text{vigote}) \quad (18)$$

$$A_s \geq A_{smin} \quad \text{sendo} \quad A_{smin} = 0,0015 \cdot b_w \cdot h$$

### 3.5.2. DIMENSIONAMENTO PARA MOMENTO FLETOR NEGATIVO

$$k_s = \frac{b_w \cdot d^2}{X_d} \quad (19)$$

Com o auxílio da tabela 3.4, obtém-se  $k_s$

$$A_s = k_s \frac{X_d}{d} \quad (\text{cm}^2/\text{vigote}) \quad (20)$$

$$A_s \geq A_{smin} \quad \text{com} \quad A_{smin} = 0,0015 \cdot b_w \cdot h$$

$$A_{snegativa} = \frac{A_s}{b_f} \quad (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (21)$$

### 3.5.3. CISALHAMENTO

Procede-se de maneira idêntica ao apresentado no item 3.3.6. deste capítulo.



### 3.5.4. VERIFICAÇÕES

A fissuração e deformação excessivas são verificadas conforme item 3.4 deste capítulo.

### 3.5.5. ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO

Conforme item 3.3.7 deste capítulo.

### 3.6. EXEMPLO DE CÁLCULO

Considera-se para este exemplo, uma laje com as seguintes características:

$l = 3,30 \text{ m}$	$f_{ck} = 18 \text{ MPa}$
$h = 11 \text{ cm}$	Aço CA 60 B
$b_w = 7 \text{ cm}$	Altura do vigote = 8 cm
$h_f = 3 \text{ cm}$	Altura do bloco = 8 cm
$b_f = 35 \text{ cm (inter-eixo)}$	Laje apoiada-engastada
Peso específico do concreto armado = $25 \text{ kN/m}^3$	
Peso específico do bloco cerâmico = $6 \text{ kN/m}^3$	

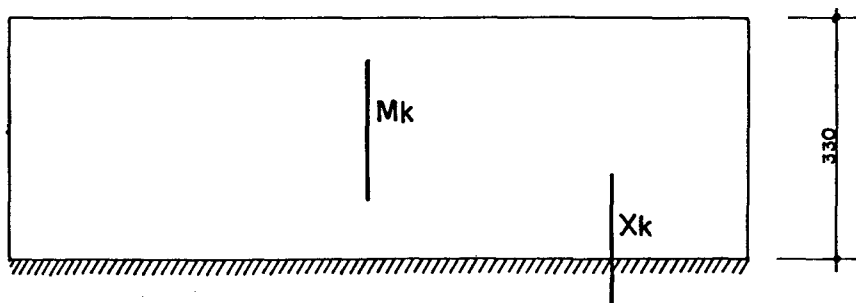


FIGURA 3.7. - CARACTERÍSTICAS DA LAJE

## SOLUÇÃO

### 1. CARGAS

#### 1.1. Permanentes (g)

$$1 \text{ m}^2 \text{ de laje} = 2,86 \text{ m de vigote (1/0,35} = 2,86 \text{ m)}$$

$$1 \text{ m}^2 \text{ de laje} = 16 \text{ blocos de } 0,08 \cdot 0,18 \cdot 0,25 \text{ (2,86/0,18} = 16 \text{ blocos/m}^2)$$

$$\text{Capeamento} - 0,03 \cdot 25 = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Nervura} - 0,10 \cdot 0,08 \cdot 2,86 \cdot 25 = 0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bloco} - 0,08 \cdot 0,18 \cdot 0,25 \cdot 6 \cdot 16 = 0,35 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Acabamento de piso} = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Revestimento de teto} = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total de carga permanente} = 2,77 \text{ kN/m}^2$$

#### 1.2. Carga acidental (q)

$$\text{Considerando como dormitório} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

#### 1.3. Carga Total (g + q)

$$2,77 + 1,5 = 4,27 \text{ kN/m}^2$$

#### 1.4. Carga total por metro de vigote (p)

$$p = \text{carga total} \cdot b_f$$

$$p = 4,27 \cdot 0,35 = 1,49 \text{ kN/m} = 0,149 \text{ hN/cm} = 0,015 \text{ kN/cm}$$

### 2. ESFORÇOS SOLICITANTES

$$M_k = \frac{pl^2}{8} = \frac{1,49 (3,30)^2}{8} = 2,03 \text{ kNm} = 203 \text{ kNcm} = 2030 \text{ hNcm}$$

$$X_k = -\frac{pl^2}{8} = -2,03 \text{ kNm} = -203 \text{ kNcm} = -2030 \text{ hNcm}$$

$$V = \frac{pl}{2} + \frac{X_k}{1} = \frac{1,49 \cdot 3,30}{2} + \frac{2,03}{3,30} = 3,08 \text{ kN} \quad (\text{engaste})$$

*em módulo!*

$$V = \frac{pl}{2} - \frac{X_k}{1} = \frac{1,49 \cdot 3,30}{2} - \frac{2,03}{3,30} = 1,84 \text{ kN} \quad (\text{apoio})$$

### 3. DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO

$$d = h - \left(c + \frac{\phi}{2}\right) \quad c \text{ (cobrimento)} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\phi_{\text{adotado}} = 0,5 \text{ mm}$$

$$d = 11 - \left(0,5 + \frac{0,5}{2}\right) = 10,25 \text{ cm}$$

#### 3.1. POSIÇÃO DA LINHA NEUTRA

$$y = d - \frac{\sqrt{(1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot d)^2 - 6,8 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot M_d}}{1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f}$$

$$y = 10,25 - \frac{\sqrt{[1,7 \cdot (18/1,4) \cdot 35 \cdot 10,25]^2 - 6,8 \cdot (18/1,4) \cdot 35 \cdot 1,4 \cdot 2030}}{1,7(18/1,4) \cdot 35}$$

$$y = 0,75 \text{ cm} < h_f$$

Portanto, é calculada como viga de seção retangular, com largura  $b_f = 35 \text{ cm}$

#### 3.2. ARMADURA DO VIGOTE

$$A_s = \frac{2 M_d}{f_{yd} \cdot (2d - y)}$$

$$A_s = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 2030}{600 / 1,15 (2 \cdot 10,25 - 0,75)}$$

$$A_s = 0,55 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_s > A_{smin} = 0,0015 \cdot 7 \cdot 11 = 0,12 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_s - 2 \phi 6,0 \text{ mm } (0,56 \text{ cm}^2)$$

### 3.3. ARMADURA NEGATIVA

Calculada como seção retangular com  $b_w = 7 \text{ cm}$ .

$$y = d - \frac{\sqrt{(1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot d)^2 - 6,8 \cdot f_{cd} \cdot b_f \cdot M_d}}{1,7 \cdot f_{cd} \cdot b_f}$$

$$y = 10,25 - \frac{\sqrt{[1,7(18/1,4)7 \cdot 10,25]^2 - 6,8(18/1,4)7 \cdot 1,4 \cdot 2030}}{1,7(18/1,4)7}$$

$$y = 4,7 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{2 M_d}{f_{yd} (2d - y)}$$

$$A_s = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 2030}{600/1,15 (2 \cdot 10,25 - 4,7)}$$

$$A_s = 0,69 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_s \geq A_{smin} = 0,0015 \cdot 7 \cdot 11 = 0,12 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_{smin} = 0,12 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

Distribuindo-se esta armadura por metro de laje, tem-se:

$$A_{snegativa} = \frac{0,69}{0,35} = 1,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{snegativa} - \phi 5,0 \text{ mm a cada } 10 \text{ cm } (2,00 \text{ cm}^2/\text{m})$$

O comprimento desta armadura será:

$$(3,30 \cdot 0,25) \cdot 2 = 1,65 \text{ m } \quad (\text{item 3.3.5.1})$$

#### 4. CISALHAMENTO

$$\tau_{wd} \leq \tau_{wul}$$

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} = \frac{1,4 \cdot 30,8}{7 \cdot 10,25} = 0,60 \text{ MPa}$$

$$\tau_{wul} = \psi_4 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$\psi_4 = 0,14 \cdot \alpha \cdot k \quad \text{para} \quad d \leq \frac{L}{20} = \frac{330}{20} = 16,5$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w \cdot h} \quad \rho_1 = \frac{0,56}{7 \cdot 11} = 0,00727$$

$$\alpha = 1 + 50 \cdot \rho_1 \quad e \quad k = 1,6 - d \geq 1$$

$$\alpha = 1 + 50 \cdot 0,00727 = 1,36$$

$$k = 1,6 - 0,1025 = 1,50 \quad \alpha \cdot k \leq 1,75$$

$$\alpha \cdot k = 1,36 \cdot 1,50 = 2,04 \quad \text{logo,} \quad \alpha \cdot k = 1,75$$

$$\psi_4 = 0,14 \cdot 1,75 = 0,24$$

$$\tau_{wul} = 0,24 \sqrt{18} = 1,02 \text{ MPa}$$

Satisfeita a condição -  $\tau_{wd} \leq \tau_{wul}$

#### 5. VERIFICAÇÕES

##### 5.1. FISSURAÇÃO

A condição de validade da primeira expressão é:

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}} \geq \frac{f_{tk}}{\sigma_s}$$

$$f_{tk} = \frac{f_{ck}}{10} = \frac{18}{10} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{M_k}{(2 \cdot d - y) \cdot A_s} = \frac{2 \cdot 2030}{(2 \cdot 10,25 - 0,75)0,56} = 367,09 \text{ MPa}$$

$$A_{cr} = b_w (8 \phi + c) = 7 (8 \cdot 0,6 + 0,5) = 37,1 \text{ cm}^2$$

$$\rho_r = \frac{0,56}{37,1} = 0,015$$

$$\frac{f_{tk}}{\sigma_s} = \frac{1,8}{367,09} = 0,0049$$

Assim, satisfeita a condição, a fissuração é sistemática, valendo a primeira expressão:

$$w = \frac{6}{2 \cdot 1,0 \cdot 0,75} \cdot \frac{367,09}{210.000} \left[ \frac{4}{0,03} + 45 \right] = 1,25$$

$w < 3$  - Satisfeita a condição.

## 5.2. DEFORMAÇÃO (FLECHA)

$$a = \frac{5 \cdot p \cdot l^2}{384 \cdot E_c \cdot I} \leq \frac{l}{300} \quad a = \text{flecha}$$

$$\text{onde } E_c = 3300 \cdot \sqrt{18 + 3,5} = 15301,47 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{35 \cdot 11^3}{\mu}$$

Com o auxílio da tabela de Loeser (Tabela 3.3), determina-se o valor de  $\mu$ .

$$\frac{b_w}{b_f} = \frac{7}{35} = 0,20$$

$$\mu = 32$$

$$\frac{h_f}{h} = \frac{3}{11} = 0,27$$

$$I = \frac{35 \cdot 11^3}{32} = 1455,78 \text{ cm}^4$$

$$a = \frac{5 \cdot 0,149 \cdot 330^4}{384 \cdot 15301,47 \cdot 1455,78} = 1,03 \text{ cm}$$

$$a_{adm} = \frac{1}{300} = \frac{330}{300} = 1,1 \text{ cm}$$

$$a < a_{adm} \quad \text{Satisfeita a condição.}$$

### 3.7 EXEMPLO DE CÁLCULO DE MANEIRA SIMPLIFICADA

Para este exemplo, consideram-se os mesmos dados do problema anterior, ou seja:

$$p = 0,149 \text{ hN/cm} = 0,015 \text{ kN/cm}$$

$$M_k = 2030 \text{ hNcm} = 203 \text{ kNcm}$$

$$X_k = -2030 \text{ hNcm} = -203 \text{ kNcm}$$

$$V = 3,08 \text{ kN}$$

$$d = 10,25 \text{ cm}$$

$$k_c = \frac{b_f \cdot d^2}{M_d} = \frac{35 \cdot (10,25)^2}{1,4 \cdot 203} = 12,94$$

$$k_y = 0,08 \quad \text{e} \quad k_s = 0,020$$

A posição da linha neutra será:

$$y = k_y \cdot d = 0,08 \cdot 10,25 = 0,82 < h_f$$

Portanto, a viga será calculada como retangular de largura  $b_f = 35 \text{ cm}$  e a armadura dos vigotes será:

$$A_s = k_s \frac{M_d}{d}$$

$$A_s = 0,020 \frac{1,4 \cdot 203}{10,25} = 0,55 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_s \geq A_{smin} = 0,0015 \cdot 7 \cdot 11 = 0,12 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_s - 2 \phi 6,0 \text{ mm} \quad (0,56 \text{ cm}^2)$$

A armadura negativa, será:

$$k_c = \frac{b_w \cdot d^2}{X_d} = \frac{7 \cdot (10,25)^2}{1,4 \cdot 203} = 2,59$$

Adota-se neste caso,  $k_{sjimite} = 0,024$

$$A_s = k_s \frac{X_d}{d} = 0,024 \frac{1,4 \cdot 203}{10,25} = 0,67 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_s \geq A_{smin} = 0,0015 \cdot 7 \cdot 11 = 0,12 \text{ cm}^2/\text{vigote}$$

$$A_{snegativa} = \frac{0,67}{0,35} = 1,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\phi 5,0 \text{ mm a cada } 10 \text{ cm} (2,00 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Quanto ao cisalhamento, as verificações da fissuração e deformação vertical (flecha) e a armadura de distribuição, o procedimento é idêntico ao apresentado nos itens anteriores.



TABELA 3.3. A - MOMENTO DE INÉRCIA PARA VIGAS DE SEÇÃO "T"

Momento de Inércia  $I = \frac{b_f \cdot h^3}{\mu}$  (cm<sup>4</sup>)

A tabela fornece os coeficientes  $\mu$

$\frac{h_f}{h}$	$\frac{b_w}{b_f}$												
	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,08	44,6	42,8	41,1	39,7	38,3	37,1	34,9	33,0	31,3	29,9	28,6	27,4	26,3
0,09	43,4	41,6	40,1	38,6	37,3	36,1	34,0	32,2	30,6	29,2	27,9	26,8	25,7
0,10	42,4	40,7	39,2	37,8	36,5	35,3	33,3	31,5	30,0	28,6	27,3	26,3	25,3
0,11	41,7	40,0	38,4	37,0	35,8	34,6	32,6	30,9	29,4	28,1	26,9	25,8	24,8
0,12	41,0	39,3	37,8	36,4	35,2	34,1	32,1	30,4	28,9	27,6	26,5	25,4	24,5
0,13	40,5	38,8	37,3	35,9	34,7	33,6	31,6	29,9	28,5	27,2	26,2	25,1	24,1
0,14	40,0	38,4	36,9	35,5	34,3	33,2	31,2	29,6	28,1	26,9	25,7	24,7	23,8
0,15	39,7	38,0	36,5	35,2	34,0	32,9	30,9	29,3	27,8	26,6	25,4	24,5	23,6
0,16	39,4	37,7	36,2	34,9	33,7	32,6	30,6	29,0	27,6	26,3	25,2	24,3	23,4
0,17	39,2	37,5	36,0	34,7	33,4	32,3	30,4	28,8	27,3	26,1	25,0	24,1	23,2
0,18	39,0	37,3	35,8	34,5	33,2	32,1	30,2	28,6	27,1	25,9	24,8	23,9	23,0
0,19	38,8	37,1	35,6	34,3	33,0	31,9	30,0	28,4	26,9	25,7	24,6	23,7	22,8
0,20	38,7	37,0	35,5	34,2	32,9	31,8	29,9	28,3	26,8	25,6	24,5	23,6	22,7
0,22	38,6	36,9	35,3	34,0	32,7	31,6	29,7	28,1	26,6	25,4	24,3	23,3	22,5
0,24	38,5	36,8	35,2	33,9	32,6	31,5	29,6	27,9	26,5	25,2	24,2	23,2	22,4
0,26	38,5	36,7	35,2	33,8	32,6	31,4	29,5	27,8	26,4	25,1	24,1	23,1	22,3
0,28	38,5	36,7	35,2	33,8	32,6	31,4	29,4	27,8	26,3	25,1	24,0	23,0	22,2
0,30	38,5	36,7	35,2	33,8	32,5	31,4	29,4	27,7	26,3	25,1	24,0	23,0	22,1
0,32	38,5	36,7	35,2	33,8	32,5	31,4	29,4	27,7	26,3	25,1	24,0	23,0	22,1
0,34	38,4	36,6	35,1	33,7	32,5	31,4	29,4	27,7	26,3	25,1	24,0	23,0	22,1
0,36	38,3	36,6	35,1	33,7	32,5	31,4	29,4	27,7	26,3	25,0	23,9	23,0	22,1
0,38	38,1	36,5	34,9	33,6	32,4	33,1	29,4	27,7	26,3	25,0	23,9	23,0	22,1
0,40	37,9	36,3	34,8	33,5	32,3	31,2	29,3	27,7	26,3	25,0	23,9	23,0	22,1
0,42	37,5	36,0	34,6	33,3	32,1	31,1	29,2	27,6	26,2	25,0	23,9	22,9	22,1
0,44	37,1	35,6	34,3	33,1	31,9	30,9	29,1	27,5	26,1	24,9	23,9	22,9	22,1

TABELA 3.3. B - MOMENTO DE INÉRCIA PARA VIGAS DE SEÇÃO "T"

Momento de Inércia  $I = \frac{b_f \cdot h^3}{\mu}$  (cm<sup>4</sup>)

A tabela fornece os coeficientes  $\mu$

$\frac{h_f}{h}$	$\frac{b_w}{b_f}$												
	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0,08	25,3	24,4	23,6	22,8	22,1	21,4	20,8	20,2	19,6	19,1	18,6	18,1	17,7
0,09	24,8	23,9	23,1	22,4	21,7	21,1	20,5	19,9	19,4	18,9	18,4	18,0	17,5
0,10	24,3	23,5	22,7	22,0	21,4	20,9	20,2	19,6	19,1	18,6	18,2	17,8	17,3
0,11	24,0	23,1	22,4	21,7	21,1	20,5	19,9	19,4	18,9	18,4	18,0	17,6	17,2
0,12	23,6	22,8	22,1	21,4	20,8	20,2	19,7	19,2	18,7	18,3	17,8	17,4	17,0
0,13	23,3	22,5	21,8	21,2	20,6	20,0	19,5	19,0	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9
0,14	23,0	22,3	21,6	20,9	20,4	19,8	19,3	18,8	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8
0,15	22,8	22,0	21,4	20,7	20,2	19,6	19,1	18,6	18,2	17,8	17,4	17,0	16,7
0,16	22,6	21,8	21,2	20,6	20,0	19,5	19,0	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,6
0,17	22,4	21,6	21,0	20,4	19,8	19,3	18,8	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,5
0,18	22,2	21,5	20,9	20,3	19,7	19,2	18,7	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,4
0,19	22,0	21,4	20,8	20,2	19,6	19,1	18,6	18,2	17,8	17,4	17,0	16,6	16,3
0,20	21,9	21,3	20,6	20,0	19,5	19,0	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,6	16,2
0,22	21,7	21,1	20,4	19,8	19,3	18,8	18,3	17,9	17,5	17,1	16,8	16,5	16,1
0,24	21,6	20,9	20,3	19,7	19,2	18,7	18,2	17,8	17,4	17,0	16,7	16,3	16,0
0,26	21,5	20,8	20,2	19,6	19,1	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,6	16,2	15,9
0,28	21,4	20,7	20,1	19,5	19,0	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,5	16,2	15,9
0,30	21,3	20,6	20,0	19,4	18,9	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,4	16,1	15,8
0,32	21,3	20,6	20,0	19,4	18,9	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,4	16,1	15,8
0,34	21,3	20,6	20,0	19,4	18,9	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,4	16,1	15,8
0,36	21,3	20,6	20,0	19,4	18,9	18,4	17,9	17,5	17,1	16,7	16,4	16,0	15,7

**TABELA 3.4 -COEFICIENTES PARA DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES  
EM SEÇÃO RETANGULAR DE CONCRETO ARMADO**

$$\gamma_f = 1,4 \quad \gamma_c = 1,4 \quad \gamma_s = 1,15$$

$$y = k_y \cdot d$$

$$y = 0,8 \cdot x$$

$$k_c = \frac{b_w \cdot d^2}{M_d} \quad (\text{cm}^2/\text{kN})$$

$$A_s = k_s \frac{M_d}{d} \quad (\text{cm}^2)$$

Unidades :  $\text{kN} \cdot \text{cm} = \text{kgf} \cdot \text{m}$

$k_x$	$k_y$	$k_c \text{ (cm}^2/\text{kN)}$		$k_s \text{ (cm}^2/\text{kN)}$		
		C-15	C-18	CA-50 A	CA-50 B	CA-60
0,05	0,04	29,15	24,30	0,023	0,023	0,019
0,08	0,06	17,72	14,77	0,024	0,024	0,020
0,10	0,08	14,30	11,91	0,024	0,024	0,020
0,13	0,10	11,56	9,63	0,024	0,024	0,020
0,15	0,12	9,73	8,11	0,024	0,024	0,020
0,18	0,14	8,43	7,03	0,025	0,025	0,021
0,20	0,16	7,46	6,22	0,025	0,025	0,021
0,23	0,18	6,70	5,59	0,025	0,025	0,021
0,25	0,20	6,10	5,08	0,026	0,026	0,021
0,28	0,22	5,61	4,67	0,026	0,026	0,022
0,30	0,24	5,20	4,33	0,026	0,026	0,022
0,33	0,26	4,85	4,05	0,026	0,026	0,022
0,35	0,28	4,56	3,80	0,027	0,027	0,022
0,38	0,30	4,31	3,59	0,027	0,027	0,023
0,40	0,32	4,08	3,40	0,027	0,027	0,023
0,43	0,34	3,89	3,24	0,028	0,028	0,023
0,438	0,35	3,80	3,17	0,028	0,028	0,024
0,45	0,36	3,72	3,10	0,028	0,028	
0,462	0,37	3,64	3,03	0,028	0,029	
0,48	0,38	3,57	2,97	0,028		
0,50	0,40	3,43	2,86	0,029		
0,53	0,42	3,31	2,76	0,029		
0,55	0,44	3,20	2,67	0,029		
0,58	0,46	3,10	2,58	0,030		
0,60	0,48	3,01	2,51	0,030		
0,628	0,50	2,93	2,44	0,031		

## **CAPÍTULO 4**

### **PRODUÇÃO**

A produção de componentes construtivos para edificações pode acontecer de três formas: artesanal, tradicional ou industrializada.

A produção artesanal emprega métodos e processos intuitivos, normalmente transferidos por usos, hábitos e experiências regionais, exteriorizando, não apenas a precariedade dos recursos, mas também os costumes.

A produção tradicional, utiliza métodos e processos geralmente normalizados e produtos, de um modo geral, já consagrados. Esse processo pode ainda ser mais racionalizado, desde que use produtos padronizados.

A produção industrializada segue um estágio mais avançado, a qual estão incorporadas técnicas de fabricação em série, racionalização da produção e otimização dos custos.

Esses processos de produção, são sintetizados de maneira simples e objetiva, onde são salientados o rumo que a manufatura (artesanato) e a mecanização (tradicional) seguem em direção à industrialização (KONCZ, 1976).

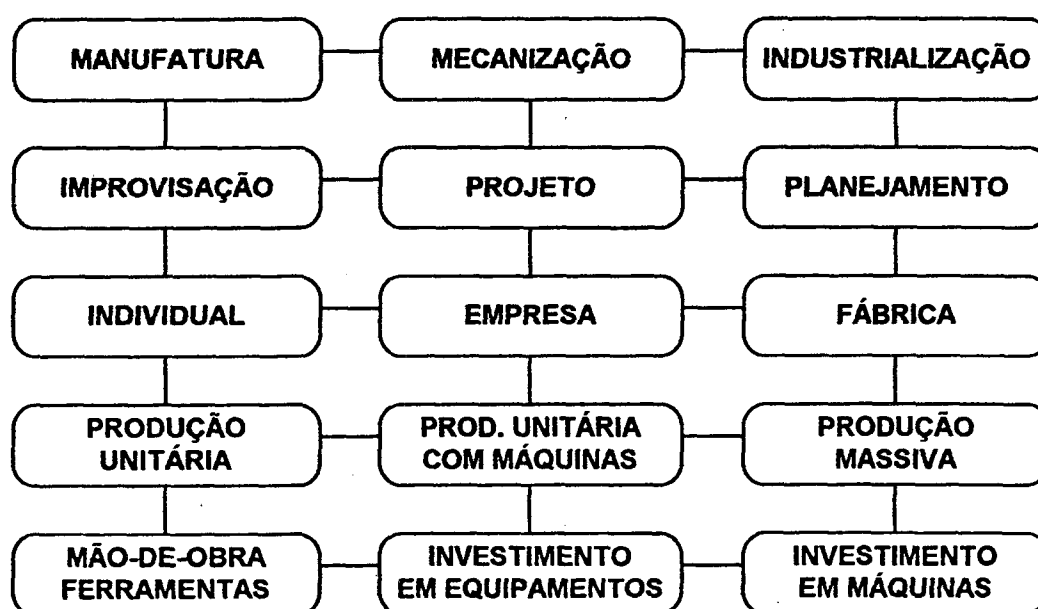


FIGURA 4.1. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO

A industrialização portanto, é um assunto muito mais abrangente e muito mais complexo que a produção ou pré-moldagem de componentes.

Do ponto de vista tecnológico, a industrialização é:

*“o resultado de uma determinada interação de tecnologia, que se materializa, ora no próprio processo de produção, tecnologia do processo, ora no produto, tecnologia do produto.” (SALAS SERRANO, 1980)*

Todas as definições de industrialização da construção e de seus componentes, podem também ser resumidas pela de Gérard Blachere, Diretor do CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - Paris), que sintetiza a industrialização através da expressão (BRUNA, 1976):

**INDUSTRIALIZAR = RACIONALIZAR + MECANIZAR + AUTOMATIZAR**

Cada uma dessas parcelas pode, no decorrer do tempo, desenvolver-se isoladamente em função de necessidades específicas, tais como os aspectos técnicos e econômicos.

O processo pode ocorrer em toda a construção ou em partes, nos chamados componentes da construção. Este é o caso da laje, tratada neste trabalho, onde apenas o vigote e o elemento cerâmico são pré-fabricados.

#### **4.1. REQUISITOS DA PRODUÇÃO**

Os conhecimentos tecnológicos, que visem aumentar a produtividade, reduzir os custos operacionais e melhorar a qualidade do produto final, são necessários, a fim de que se elimine eventuais obstáculos. A elaboração de um projeto de linha de produção pode mostrar claramente todas as implicações, bem como as possíveis soluções a serem adotadas, visando a otimização do processo produtivo (KONCZ, 1976).

As vantagens de um planejamento adequado são garantidas através da redução do tempo de execução, com melhor aproveitamento da mão-de-obra;

- redução do consumo de materiais;
- melhor qualidade do produto;
- garantia da produção.

Com respeito a industrialização, o material tem um aspecto fundamental e deve apresentar as seguintes características:

- facilidade de ser utilizado por meios mecânicos;
- desempenhar funções estruturais;
- desempenhar funções isolantes e de resistência ao fogo;
- ter suficiente resistência mecânica;
- apresentar boa durabilidade.

A dinâmica da linha de produção de componentes construtivos precisa ser continuamente avaliada, a fim de que a otimização do processo seja conseguida. O produto terá, necessariamente, que permitir o retorno do capital empregado e proporcionar um lucro que confira possibilidades de novos investimentos.

## 4.2. FABRICAÇÃO DOS ELEMENTOS

### 4.2.1. VIGOTES

Os vigotes pré-moldados de concreto armado, para execução das lajes, são confeccionados em fôrmas metálicas com 6 metros de comprimento, podendo, em casos especiais, chegar a 8 m. As dimensões da seção transversal desses vigotes variam de acordo com as hipóteses de cálculo estabelecidas pelo projetista e pelas exigências do processo produtivo.

No estado de Santa Catarina encontram-se diversas metalúrgicas que apresentam fôrmas metálicas para lajes em seus catálogos. As principais são CSM e Menegotti localizadas na cidade de Jaraguá do Sul.

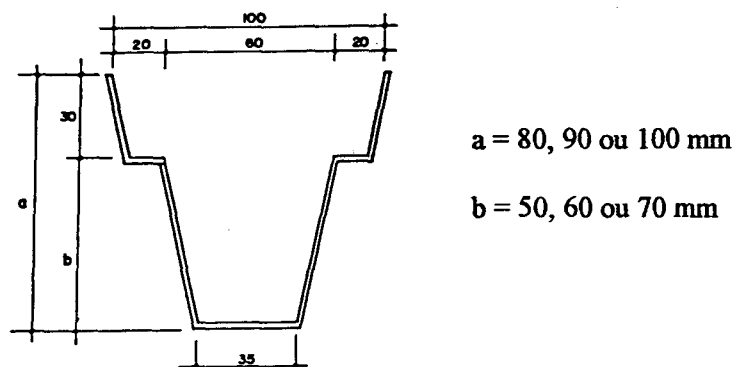


FIGURA 4.2. - TIPO DE FÔRMA METÁLICA

A fabricação de vigotes pré-moldados, pela sua simplicidade, não requer técnica nem mão-de-obra muito especializada. São fabricados com dimensões variando de 10 em 10 cm de comprimento. A existência de uma folga sobre as paredes ou vigas, faz com que a modulação de 10 cm englobe dimensões moduladas em 5 cm ou maiores. Nesta produção, destacam-se seis etapas básicas, que são:

## **1. PREPARAÇÃO DAS FÔRMAS**

Nesta etapa, efetua-se a limpeza das fôrmas metálicas, removendo-se qualquer resíduo da utilização anterior e aplica-se um desmoldante. Este, pode ser a base de parafina (cera desmoldante), ou a base de óleo diesel. Em geral consiste numa mistura de óleo queimado com óleo diesel.

Colocam-se os espaçadores metálicos na fôrma, para definir o comprimento dos vigotes. Estes posicionam-se inclinados a 60 graus e possuem ranhuras onde passam as esperas da armadura longitudinal dos vigotes.

## **2. PREPARAÇÃO E MONTAGEM DAS ARMADURAS**

O aço que servirá de armadura dos vigotes, e previsto para resistir aos momentos fletores positivos, são do tipo CA 50 A ou B, fornecidos em barras, ou CA 60 B, fornecidos em rolo. A taxa de armadura dos vigotes varia de caso a caso, conforme as características da laje. Normalmente, para este tipo de laje, emprega-se o aço CA 60 B por possuir uma tensão de escoamento bem maior, da ordem de 600 MPa ( $f_{yk} = 600 \text{ MPa}$ ).

Por razões de segurança, os vigotes devem possuir, na parte superior, uma armadura construtiva, que não é considerada nos cálculos das lajes. Esta barra é muito importante na fase de montagem da laje em obra, pois quando os vigotes são sustentados por apoios intermediários (escoramento da laje), surgem momentos negativos, que poderão ser nocivos, podendo até causar o colapso do vigote, em virtude das tensões de tração que ocorrerão na sua parte superior.

Os fios de aço deverão ser retificados, cortados e dobrados, nas dimensões adequadas ao comprimento dos vigotes. Nas fôrmas, com a posição invertida em relação a futura laje, coloca-se o ferro construtivo (barra alta), lançando-se o concreto até a altura da armadura principal. Com o concreto, previamente vibrado, fixa-se a armadura principal nos espaçadores, completa-se a concretagem, vibrando-se novamente.

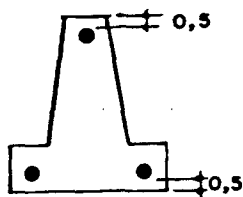


FIGURA 4.3. POSIÇÃO DA ARMADURA (COBRIMENTO = 0,5 cm)

### 3. CONFECÇÃO DO CONCRETO

As propriedades do concreto, para moldagem dos vigotes, são as especificadas pelo item 8.2 da NB-1. A resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ), obtida por dosagem, conforme o item 8.3 da norma, e controlada de acordo com o item 8.4, deverá ser de alta resistência e não inferior a 18 MPa.

Os agregados, como areia e a brita deverão ser isentos de impurezas e a água de amassamento deve ser potável.

A dosagem do concreto deverá ser executada de maneira racional (experimental), de modo a assegurar as exigências de projeto e garantir a resistência mecânica dos vigotes. A dosagem ideal depende diretamente dos agregados utilizados e da proporção em que entram na composição do traço. Para tanto, precisam-se conhecer suas características, para que se obtenha um traço realmente econômico e que atenda a todas as exigências.

O traço, homogeneizado mecanicamente em betoneira, cujo tipo e capacidade ideal é determinado pelo volume de produção da indústria, deve no entanto obedecer certas regras específicas com respeito a ordem de colocação dos materiais na betoneira (BAUER, 1979).

Para o carregamento da betoneira do tipo basculante, a mais comum, convém observar o seguinte:



1. Com a betoneira em movimento, colocam-se a água e a brita. Estes materiais em a capacidade de limpar a betoneira.
2. O cimento é adicionado em seguida, proporcionando uma boa distribuição de água para cada partícula de cimento.
3. Finalmente, coloca-se a areia, que faz um tamponamento nos materiais já colocados, não deixando sair o material graúdo como é comum.

O tempo de rotação, depois de completado o carregamento, é função do diâmetro da betoneira (D), e não poderá ser inferior a um minuto e meio (BAUER, 1979).

$$t = 120 \cdot \sqrt{D} \quad \text{onde} \quad \begin{array}{l} t = \text{tempo em segundos e} \\ D = \text{diâmetro em metros} \end{array}$$

O traço, usualmente empregado, que proporciona uma resistência característica de 18 MPa é de 1 : 2,5 : 4 com fator água-cimento  $x = 0,62$ . Para este traço, em volume, emprega-se (AFALA, 1991):

cimento	-	36 litros ( 1 saco = 50 kg)
areia média	-	90 litros
brita 0	-	140 litros
água	-	22 litros

Este traço fornece 173 litros de concreto ( $0,173 \text{ m}^3$ ), produzindo aproximadamente 30 metros de vigotes.

#### 4. LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO

O lançamento nas formas, será efetuado logo após a confecção do concreto. O adensamento deve ser mecânico, em mesa ou carro vibratório e obedecer ao disposto no item 13.2.2 da NB-1.

O uso da mesa vibratória, composta de um motor de alta rotação e um eixo excêntrico, requer um dispositivo de suporte das fôrmas, podendo ser acoplado a mesa, como mostra a figura 4.4. Neste caso, depois de vibrado, há necessidade de um carro para transportar as fôrmas com os vigotes ao local de cura.

O aparelho vibratório poderá ser montado sobre um chassi provido de rodas pneumáticas, facilitando assim, o transporte horizontal interno dos vigotes, não só para o local de cura como para o local de armazenagem. Com este sistema evitam-se vibrações desnecessárias que podem causar prejuízo aos vigotes.

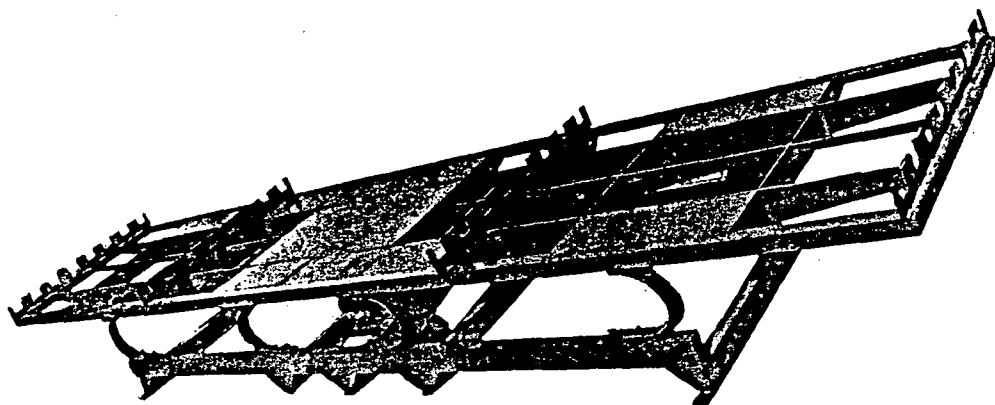


FIGURA 4.4. - MESA VIBRATÓRIA PARA VIGOTES PRÉ-MOLDADOS

## 5. CURA E DESMOLDAGEM

A fim de garantir a perfeita hidratação do cimento, os vigotes deverão ser mantidos úmidos durante os primeiros sete dias. Poderão ser desmoldados após completarem um período mínimo de 24 horas, quando adquirem uma resistência suficiente para esse fim. A desmoldagem é feita por uma rotação na fôrma metálica, que colocada sobre um estrado, deposita o vigote, liberando a fôrma para a reutilização.

Entretanto, nesta operação, os vigotes não poderão sofrer choques ou vibrações de intensidade tal, que possa produzir fissuração na massa do concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura.

Em indústrias mais sofisticadas, a cura do concreto poderá ser térmica, em câmara especial de vapor, proporcionando uma diminuição do tempo de cura e, conseqüentemente, uma maior produtividade.

De qualquer modo, todos os cuidados são imprescindíveis com respeito a cura do concreto de modo a garantir sua resistência e minimizar os efeitos da retração.

## 6. ARMAZENAGEM

O transporte dos vigotes dentro do pátio da fábrica deve ser feito em carros providos de pneus, evitando-se assim vibrações indesejáveis, tanto no período de cura, como depois dele onde também podem ocorrer danos pela vibração.

Após o período normal de cura, os vigotes podem ser estocados em pilhas de até 20 peças, separados por ripas de madeira, espaçadas no máximo 1 metro umas das outras de ponta a ponta, cuidando-se do nivelamento (vertical e horizontal), de modo a não causar tensões que possam provocar deformações prejudiciais.

#### 4.2.2. BLOCOS CERÂMICOS

Os blocos cerâmicos, apesar de não contribuírem para a resistência deste tipo de laje, servindo unicamente para preenchimento dos vazios entre os vigotes, são encontrados nas mais diversas formas e com dimensões muito variáveis.

O importante nesses blocos, são sua largura, que determina o espaçamento entre os vigotes, isto é, seu inter-eixo, e também a sua espessura, pois define o tipo de laje BETA (figura 2.5).

Esses blocos, encontrados em praticamente todas as olarias espalhadas pelo território nacional, devem ter resistência suficiente para garantir o lançamento do concreto em obra e seu adensamento, sem quebras.

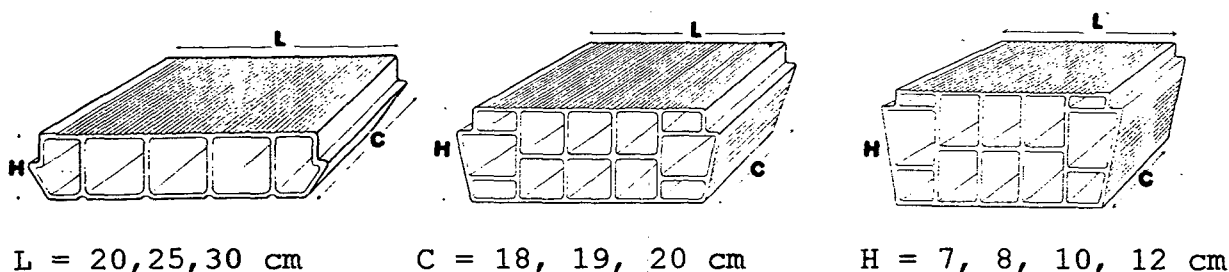


FIGURA 4.5. DIMENSÕES USUAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS

#### 4.3. PRODUTIVIDADE

A eficiência dos fatores de produção de componentes industrializados, no caso da fabricação de vigotes, mede-se pela produtividade, isto é, pela relação insumos/produto. Quanto menor for esta relação, tanto maior será a produtividade. O desperdício de materiais e a ineficiência da mão-de-obra e dos equipamentos, decorre da falta de clareza das operações que compõem o processo produtivo e do seu planejamento e programação, não permitindo otimizar o processo repetitivo e contínuo da produção (ROSSO, 1980).

A racionalização da produção deve ser buscada através de uma gestão empresarial e de uma organização sistêmica eficaz, explorando os efeitos da rotina de maneira adequada. É por este caminho que os ganhos reais de produtividade devem ser procurados.

As causas da baixa produtividade, são encontradas na má utilização dos fatores de produção e podem ser assim distribuídas:

- grau de mecanização;
- eficiência do administrador;
- eficiência do operário;
- ajustamento da capacidade operacional da indústria;
- rendimento econômico e financeiro da empresa.

Estes fatores, causadores da baixa produtividade, podem ser contornados, desde que providências sejam tomadas:

**1. Com relação ao grau de mecanização industrial:**

- modernização dos equipamentos;
- modernização dos processos;
- modernização dos métodos de trabalho.

**2. Com relação à eficiência do dirigente:**

- seleção de dirigentes;
- formação e aperfeiçoamento;
- reorganização da estrutura administrativa;
- melhoria dos sistemas de registro;
- criação de sistemas de informações (informática);
- melhoria dos sistemas de controle.

**3. Com relação à eficiência do operário:**

- seleção do pessoal e respectiva qualificação;

- formação e aperfeiçoamento do pessoal;
- treinamento de supervisores;
- criação de ambientes favoráveis ao trabalho;
- criação de ambientes, externos ao local de trabalho, favoráveis às relações sociais;
- simplificação das tarefas.

#### **4. Com relação ao ajustamento da capacidade operacional da indústria:**

- eliminação de desperdícios;
- seleção racional do instrumental e dos implementos de trabalho;
- adequação dos implementos de trabalho à função;
- fixação de "layout" racional;
- fixação adequada de lotes de trabalho;
- fixação de ciclos de fabricação.

#### **5. Com relação a melhoria do rendimento econômico e financeiro:**

- estabelecimento de sistemas de apuração de custos;
- fixação de ciclos financeiros;
- eliminação ou redução das paradas nos ciclos de produção;
- redução dos estoques de matéria prima e de produtos acabados;
- obtenção de créditos bancários mais condizentes com as atividades da produção industrial.

Em princípio, estes são os principais fatores que implicam na baixa produtividade e que podem ser eliminados pela aplicação do bom senso, aliado aos princípios da boa técnica e do planejamento adequados (CANTANHEDE, 1976).

### **4.4. CONTROLE DE QUALIDADE**

No processo de produção dos vigotes, sua qualidade pode ser assegurada desde que todas as recomendações com respeito a sua fabricação sejam observadas (item 4.2). Dá-se ênfase a execução do concreto, de modo que a resistência de cálculo seja conseguida.

O controle de qualidade do produto final, os vigotes, resume-se praticamente no controle da qualidade do concreto.

Entende-se por controle de qualidade do concreto, a verificação e o ajuste de suas características, de maneira a permitir, durante a execução, o cumprimento das especificações impostas (BAUER, 1979).

A função estrutural desempenhada pelo concreto faz com que cuidadosas medidas devam ser tomadas, de modo que suas características de resistência mecânica sejam mantidas. Como um produto industrial normalizado, e a existência de um grande número de variáveis que podem alterar representativamente suas características, como a quantidade de cimento, as variações nas proporções de agregados que entram na composição da mistura ou na mudança do fator água-cimento, modificam sensivelmente a resistência final do concreto aos esforços de compressão.

A execução de ensaios periódicos de modo a conferir a qualidade, não só do produto final mas também dos insumos que entram na composição do concreto armado para fabricação dos vigotes, são necessários e imprescindíveis.

A dosagem experimental (racional) do concreto, proporciona ao fabricante confiança no produto e a certeza de que as condições de resistência e economia sejam mantidas.(HELENE, 1989).

#### **4.5. HOMOLOGAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE**

Na construção civil, existem áreas realmente carentes de uma normalização técnica específica. Apesar dos esforços que o Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT vem envidando, no sentido de modernizar normas já obsoletas e elaborar novos textos, ainda permanecem lacunas nas etapas de projeto, fabricação de componentes e execução de serviços.

A normalização técnica fornece a sustentação necessária ao desenvolvimento da qualidade, sua homologação e conseqüente certificação de conformidade (SOUZA, 1989).

##### **4.5.1. HOMOLOGAÇÃO**

A homologação é aplicável aos produtos e processos inovadores no campo da construção, para os quais ainda não se dispõem de normalização técnica prescritiva.

O processo visa atestar a aptidão ao uso de componente ou processo construtivo, submetendo-o a uma avaliação de desempenho, antes que o mesmo venha a ser utilizado em série, no mercado da construção (SOUZA, 1983).

Apesar deste tipo de laje ser nacionalmente consagrada, não dispõe ainda, de uma norma técnica específica. Está enquadrada em prescrições normativas referentes ao concreto, no que diz respeito aos materiais e ao desempenho estrutural, mas carece de uma avaliação rigorosa de seu funcionamento, tendo em vista as inúmeras variações que sofre, desde o processo construtivo até a montagem em obra.

O processo de homologação dos vigotes, tem a finalidade de reunir todos os elementos e informações necessários para uma apreciação completa de seu comportamento estrutural e de suas características funcionais, a fim de que sejam preservadas as condições de segurança, muitas vezes relegadas a segundo plano pelas indústrias, principalmente as de pequeno porte.

O certificado de homologação poderá ser conferido a um componente construtivo, no caso específico, aos vigotes de concreto armado, desde que sejam previamente avaliados com respeito ao seu dimensionamento, materiais empregados na sua fabricação e seu comportamento estrutural.

Quanto ao dimensionamento, verifica-se a armadura e sua capacidade de resistência aos momentos fletores impostos pelas cargas atuantes e pelo vão a ser vencido, avaliando-se também, os problemas da fissuração e deformação excessivas. Quanto aos materiais, os agregados, deverão ser ensaiados em laboratório, para aferição de suas características, qualidade e condições de utilização. Quanto à empresa, faz-se necessário a verificação dos equipamentos, do modo de fabricação, cura, armazenagem e transporte dos vigotes.

#### **4.5.2. CERTIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE**

Alguns produtos industriais, já consagrados pelo uso e já normalizados, possuem certificados de conformidade. Este sistema atesta a conformidade de um produto a determinada norma, através de ensaios de amostras colhidas no mercado e na linha de produção da empresa.

O sistema de certificação de conformidade, fornecido por órgãos oficiais, concede ao produto uma marca de conformidade, assegurando que o mesmo, atende as normas e que o fabricante mantém, continuamente, o nível de qualidade da produção, proporcionando ao usuário, segurança e confiança no produto adquirido (MONTENEGRO, 1983).

## **CAPÍTULO 5**

### **ASPECTOS CONSTRUTIVOS**

Neste capítulo, abordam-se os cuidados necessários que o construtor deve ter, em obra, com a laje de vigotes pré-moldados, para que não ocorram problemas futuros e que possam causar prejuízos.

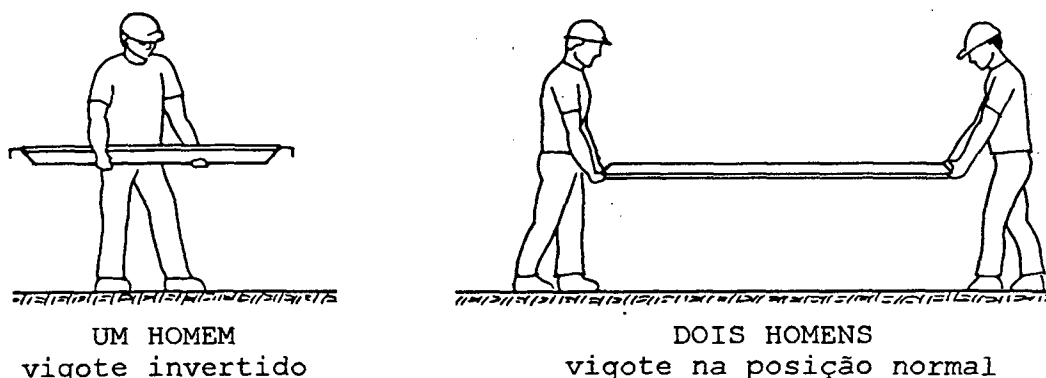
Uma das características deste tipo de laje é a sua simplicidade construtiva. Sua execução no entanto, exige alguns cuidados quanto a montagem do conjunto, para que possa compatibilizar-se com as instalações complementares e garantir a segurança e eficiência construtiva da laje.

#### **5.1. TRANSPORTE E MONTAGEM**

No transporte dos vigotes e elementos cerâmicos que fazem parte da composição da laje, o construtor deve receber também, do fabricante, um projeto, como foi visto no capítulo 2, detalhando a colocação dos vigotes, da armadura complementar, do escoramento e aplicação das contra-flechas necessárias e recomendações para a sua perfeita execução.

##### **5.1.1. TRANSPORTE**

No transporte dos vigotes, deve ser seguida a regra do "um ou dois homens", para evitar fissuras, trincas ou mesmo a sua ruína.



**FIGURA 5.1. TRANSPORTE DE VIGOTE**



### 5.1.2. MONTAGEM

Estando as alvenarias ou fôrmas da estrutura prontas, inicia-se a montagem das lajes, observando as recomendações do fabricante. A montagem consiste das seguintes etapas:

#### a. ESCORAMENTO

A laje deve ser sustentada por tábuas colocadas em espelho, com um mínimo de 15 cm de largura. As escoras (pontaletes), devem estar apoiadas em base firme para não permitir recalques. O espaçamento máximo entre escoras, recomendado, é de 1,50 m em todas as direções, devendo ainda, serem contraventadas.

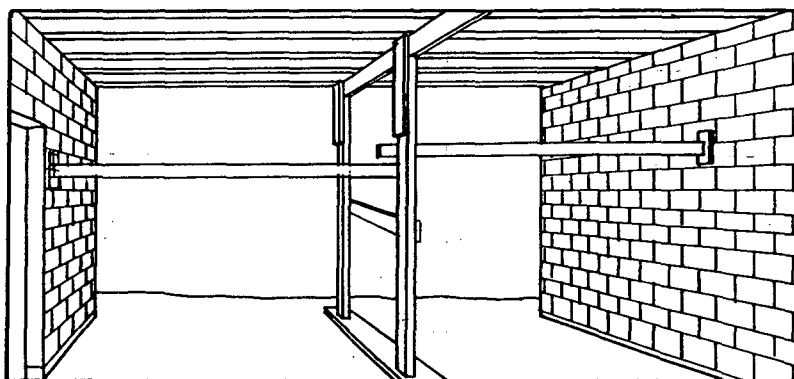


FIGURA 5.2. DETALHE DO ESCORAMENTO

#### b. COLOCAÇÃO DOS VIGOTES E BLOCOS CERÂMICOS

Com o escoramento pronto, inicia-se a colocação dos vigotes, verificando a correspondência entre a numeração dos mesmos com a constante na planta fornecida pelo fabricante.

Colocam-se os vigotes usando uma lajota em cada extremidade, para espaçá-los corretamente, verificando também, sua ortogonalidade com as paredes ou vigas em que estarão apoiados.

Inicia-se a montagem, com a primeira carreira de lajotas apoiando-se de um lado sobre a parede ou viga, e do outro, sobre o primeiro vigote. A razão disso, é que os blocos cerâmicos são mais econômicos que os vigotes, proporcionando assim, a economia de um vigote em cada laje. Em seguida são colocados todos os blocos restantes, cuidando-se para que não existam folgas entre eles.

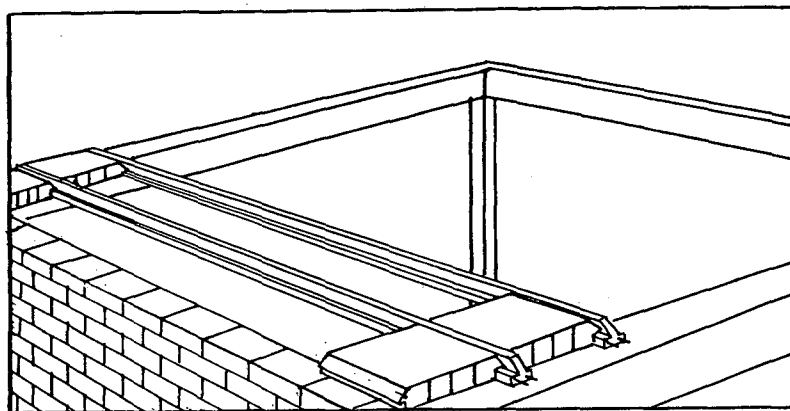


FIGURA 5.3. MONTAGEM DA LAJE

Para transitar sobre a laje, durante a colocação das lajotas, da armadura complementar, das instalações elétricas e hidro-sanitárias e da concretagem do capeamento, é necessário caminhar sobre táboas apoiadas nos vigotes. Nunca pisar diretamente sobre as lajotas.

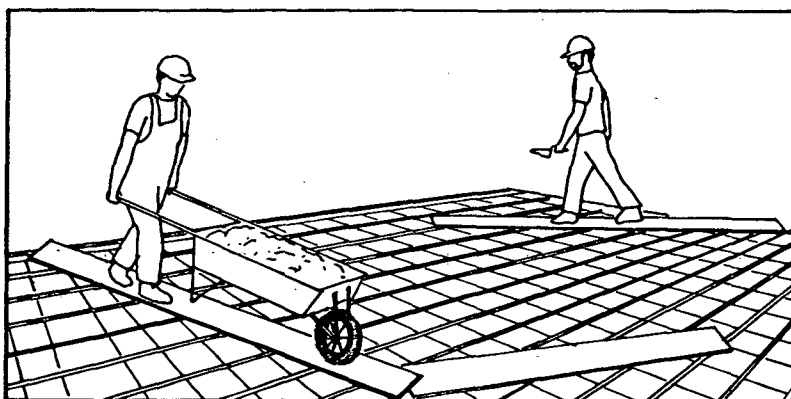


FIGURA 5.4. TRÂNSITO SOBRE LAJE INACABADA

## 5.2. COMPLEMENTAÇÃO

Nesta etapa são executadas a colocação da armadura complementar, das instalações elétricas e hidro-sanitárias, da concretagem do capeamento, da cura e posterior desforma da laje.

### 5.2.1. ARMADURA COMPLEMENTAR

Após a montagem dos vigotes e blocos cerâmicos, colocam-se as armaduras complementares. Tanto a armadura de distribuição, assentada diretamente sobre a laje como a armadura negativa, deverão estar de acordo com o projeto fornecido pelo fabricante. A armadura negativa, se existir, deverá ser distribuída sobre o engaste e permanecer numa posição alta, a 1 cm da face superior do capeamento. Para manter esta posição alta, é necessário fazer um dispositivo em obra, como um cavalete, para manter a posição dos ferros.

Normalmente, os ferros negativos são amarrados na armadura de distribuição, pois facilita o trabalho do armador. Com isso a resistência da laje fica parcialmente comprometida.

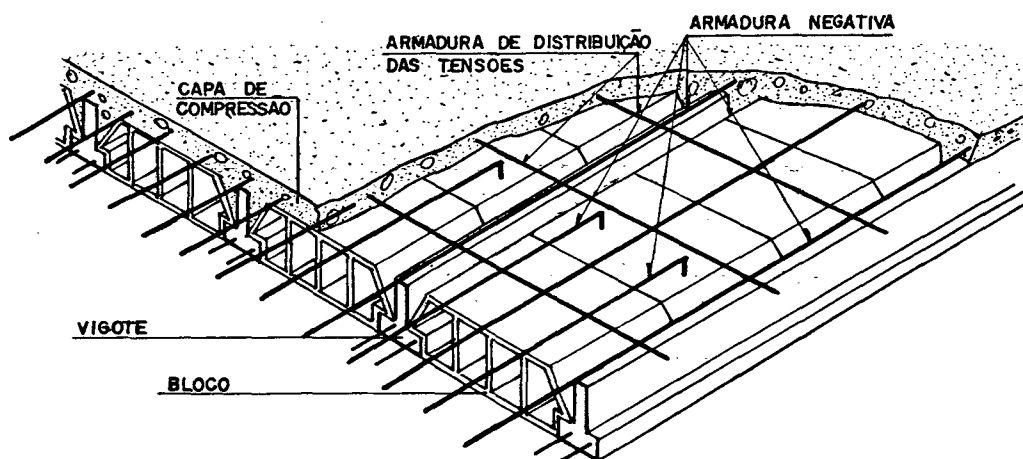


FIGURA 5.5. ARMADURA NEGATIVA E DE DISTRIBUIÇÃO

### 5.2.2. INSTALAÇÕES

Na execução das instalações, principalmente a elétrica, onde os eletrodutos são colocados sobre a armadura de distribuição de tensões, deve-se evitar o cruzamento da tubulação a fim de que o capeamento não tenha sua espessura aumentada.

As caixas de passagem, octogonais (oitavadas), embutidas na laje, antes da concretagem, devem ser fixadas em tábuas, e preenchidas com serragem, para evitar a penetração do concreto para o capeamento.

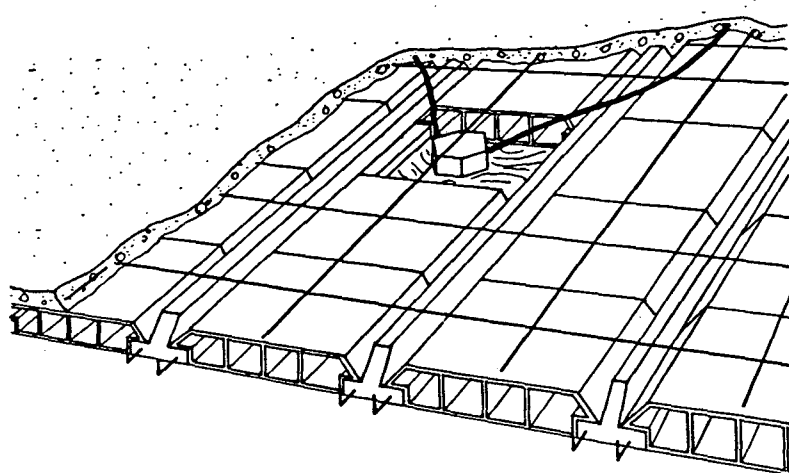


FIGURA 5.6. INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Quanto a colocação dos elementos hidro-sanitários, tais como, caixas sifonadas e tubulações para esgoto, deve-se prever os furos antes da concretagem e através de lajotas. Esses furos devem ser reforçados com ferros de 6,3 mm.

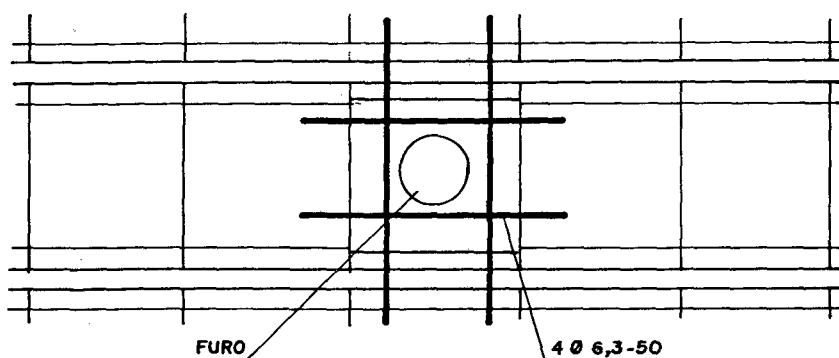


FIGURA 5.7. REFORÇO NOS FUROS DA LAJE

### 5.2.3. CONCRETAGEM

Com a laje totalmente montada e com as armaduras e instalações posicionadas corretamente, procede-se a concretagem da capa, observando-se as seguintes recomendações:

- a. Verifica-se o nivelamento dos bordos laterais da laje e o escoramento;
- b. A contra-flecha, indicada pela NB - 949/85, abordada no capítulo 3, deve ser executada pelo encunhamento dos pontaletes, após a montagem da laje (figura 5.2);

- c. Molha-se abundantemente toda a laje, inclusive as fôrmas, antes do lançamento do concreto, proporcionando um total saturamento das lajotas;
- d. Observa-se as recomendações quanto ao traço e quantidade de água para o amassamento (fator água/cimento). O concreto-capa, não poderá ter resistência inferior a 15 MPa.

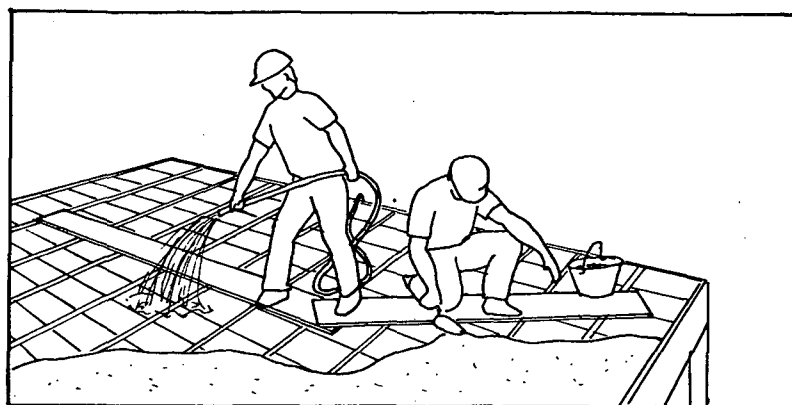


FIGURA 5.8. CONCRETAGEM

#### 5.2.4. CURA E DESFORMA

Durante o período de cura do concreto, deve-se manter úmido o capeamento durante os sete primeiros dias, para possibilitar uma melhor hidratação do cimento, e, conferir-lhe maior resistência.

A desforma e retirada do escoramento da laje só é permitida após 15 dias da concretagem. No caso de lajes de piso, não deixar que a execução do pavimento superior transfira à laje pré-moldada, ainda sem resistência, cargas significativas. Deve-se distribuir ao máximo as cargas provenientes do escoramento do andar superior.

O descimbramento deve ser executado de maneira a não provocar na estrutura, esforços ou vibrações desnecessários e não previstos. Nas lajes centrais, o descimbramento deve ser feito do meio do vão para os apoios, e nos balanços, da extremidade para o apoio.

Nas lajes de forro, a retirada do escoramento só poderá ser executada após o carpinteiro terminar os serviços de cobertura. Esta medida é necessária, em virtude dos esforços adicionais causados pela montagem da estrutura do telhado.

### 5.3. CASOS PARTICULARES

Neste item, apresentam-se alguns casos, que dizem respeito a construtividade que envolve esse tipo de laje pré-moldada, isto é, certas técnicas que deverão ser empregadas de maneira a solucionar problemas de ordem construtiva.

#### 5.3.1. ALVENARIA APARENTE

Em edificações de alvenaria aparente, onde procura-se esconder todos os elementos que não sejam os cerâmicos, emprega-se a técnica do tijolo de espelho ou meio tijolo. Esta técnica construtiva evita o aparecimento de fissuras na alvenaria ou revestimento.

Como a laje funciona de maneira desigual em relação a parede, pois ambas possuem características físicas e mecânicas completamente diferentes, a fissuração que aparece é de forma ativa, isto é, abre e fecha conforme os esforços e tensões nesses elementos. O apoio do vigote em parede de alvenaria deverá ser de no mínimo 5 cm para conferir a necessária rigidez a esse vínculo.

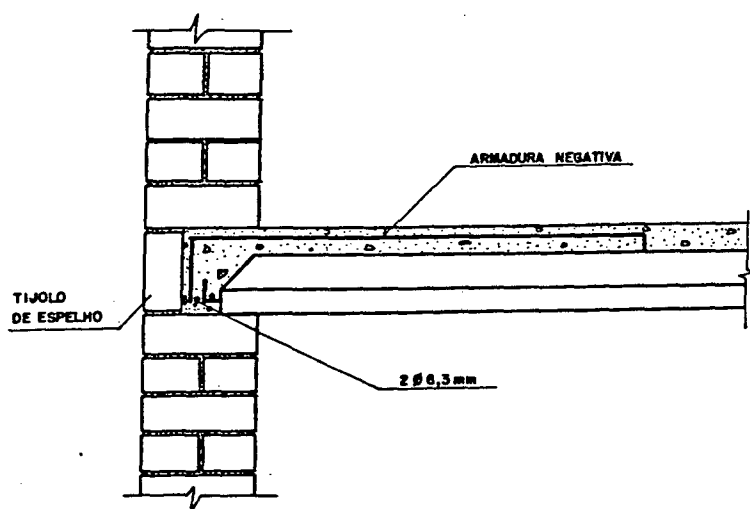


FIGURA 5.9. LAJE APOIADA EM ALVENARIA

#### 5.3.2. APOIOS INTERMEDIÁRIOS ESTREITOS

Como não existe espaço suficiente para os vigotes ficarem perfeitamente alinhados (coaxiais), não permitindo a continuidade da laje, os mesmos podem ficar desencontrados. Mesmo assim, a laje ainda apresenta características de continuidade, havendo necessidade de armadura negativa para assimilar os esforços de tração oriundos da flexão.

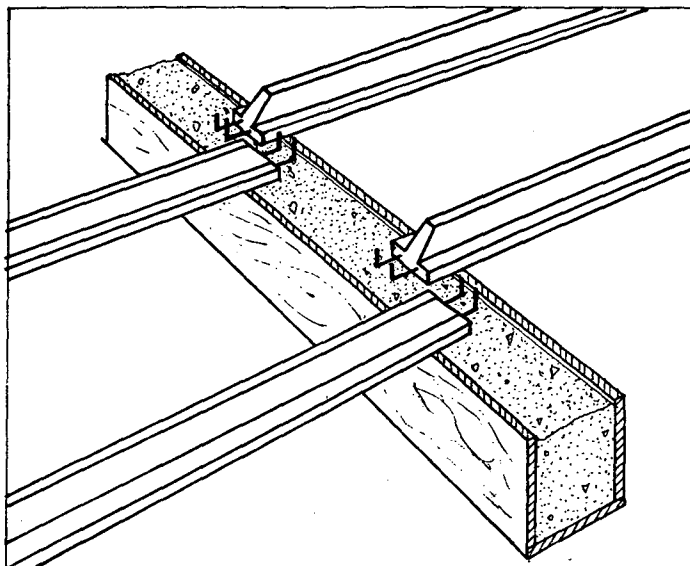


FIGURA 5.10. VIGOTES DESENCONTRADOS

### 5.3.3. PLATIBANDA EM CONCRETO

Para uma maior rigidez da estrutura, evitando trincas e fissuras na extremidade do beiral, constrói-se uma viga de concreto armado, para propiciar uma melhor distribuição das tensões. Sobre esta viga, poderá ser assentada a alvenaria, para proporcionar o complemento da altura da platibanda.

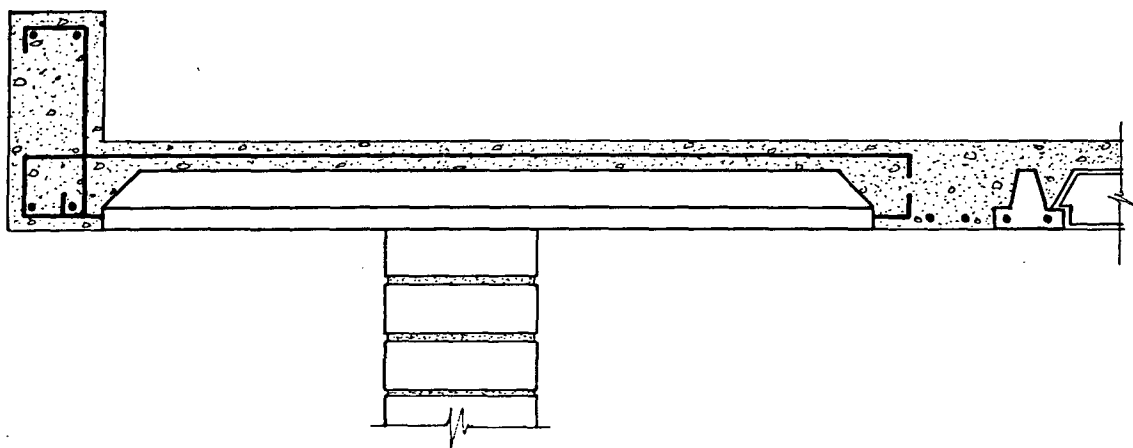


FIGURA 5.11. DETALHE DA PLATIBANDA

#### 5.3.4. LAJES INCLINADAS

Quando as exigências de projeto, especificam lajes inclinadas, deve-se observar os detalhes construtivos com respeito a cumeeira, vínculos em vigas ou paredes de alvenaria aparente e dos beirados.

Estes detalhes são com respeito a vinculação existente entre as lajes e os elementos de sustentação. As armaduras complementares são necessárias, de modo a absorver os esforços que surgem nesses vínculos.

Deve-se ainda, observar o posicionamento da armadura e o escoramento da laje, afim de obter-se um alinhamento correto e evitar-se esforços que poderão causar prejuízos a estrutura.

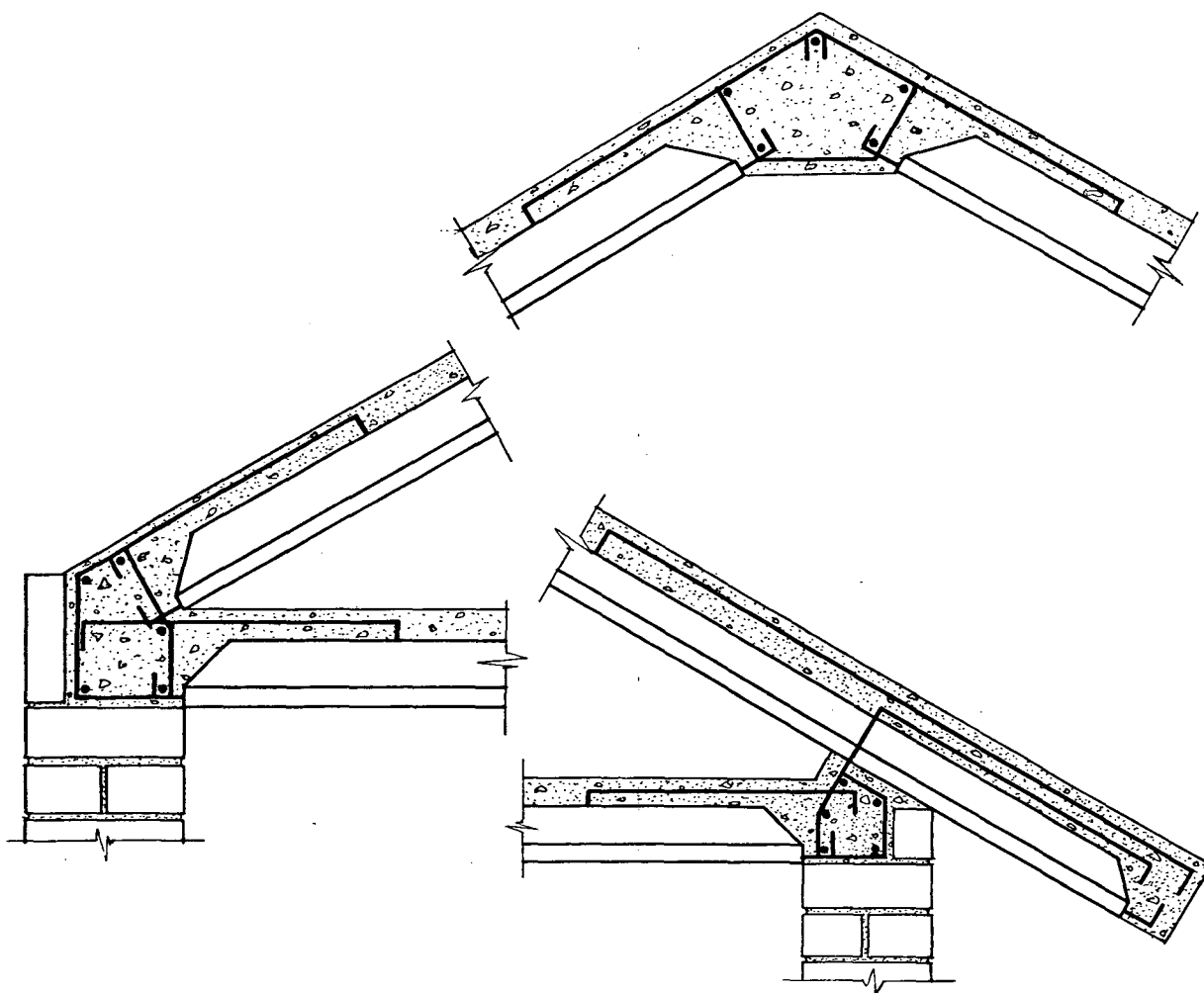
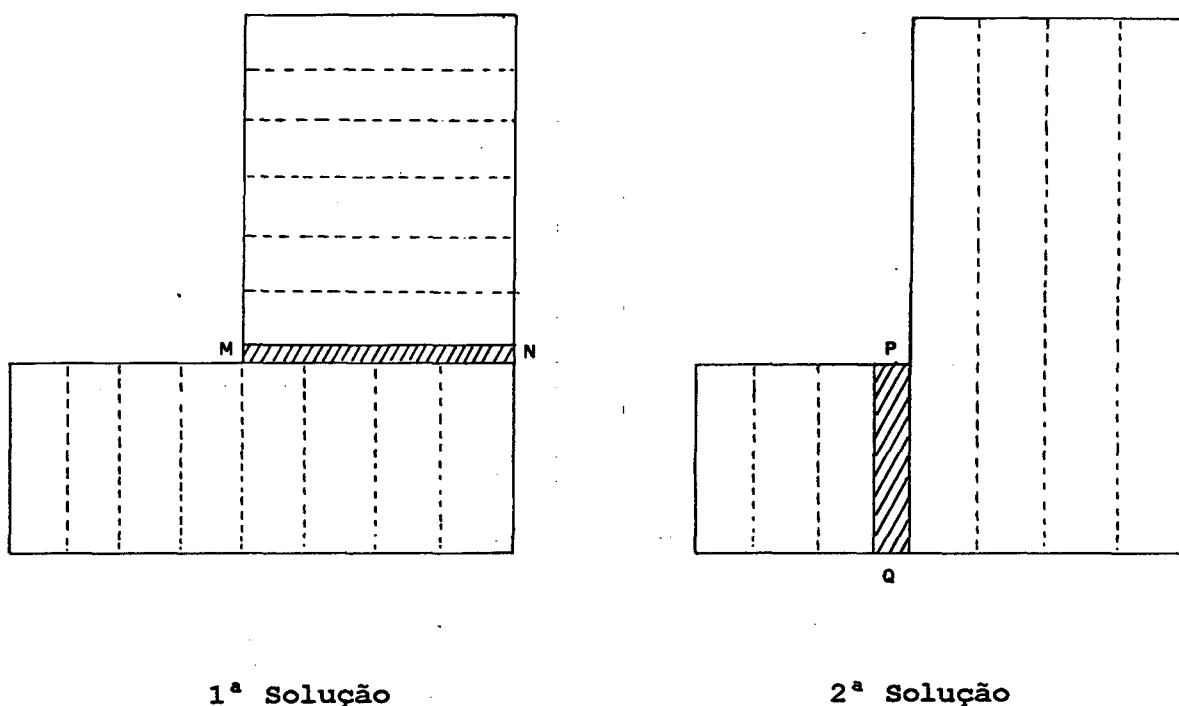


FIGURA 5.12. DETALHE DE VÍNCULOS EM LAJE INCLINADA



### 5.3.5. LAJES EM FORMA DE "L"

Ao projetar-se uma laje em "L", podem ocorrer duas situações distintas:



MN viga (normal ou invertida)

PQ viga chata

---- direção dos vigotes

FIGURA 5.13. LAJE EM FORMA DE "L"

A primeira solução, a mais correta, seria a execução de uma viga de concreto armado, na direção MN e os vigotes posicionados como mostra a figura 5.13. Se por qualquer motivo, não for possível a execução dessa viga, nem mesmo invertida, então recorre-se a segunda solução.

Nesta solução, adota-se uma viga chata PQ, da mesma espessura da laje, de modo a evitar fissuras provenientes das deformações diferenciadas entre esses dois painéis de laje. A deformação, a flecha, sendo diretamente proporcional ao comprimento do vão, provocaria no trecho PQ, fissuras ativas. A viga embutida na laje, criaria uma região de maior rigidez, evitando essa fissuração.

### 5.3.6. LAJES NÃO ORTOGONAIS

Estas lajes, por apresentarem cantos com ângulo diferente de  $90^\circ$ , ou mesmo bordos curvos, tem seus vigotes com dimensões variáveis.

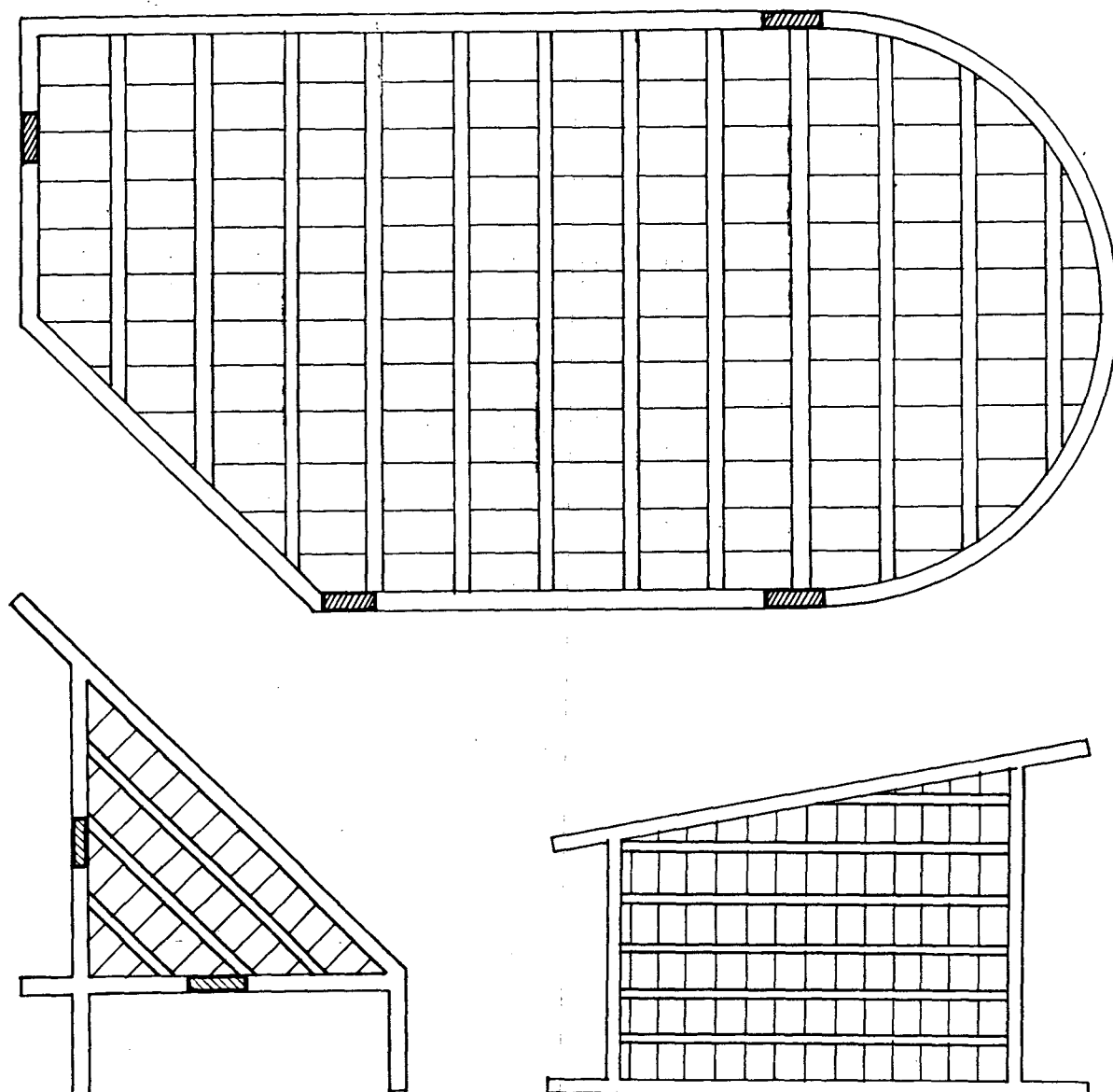


FIGURA 5.14. LAJES COM BORDOS NÃO ORTOGONAIS

Nestes casos, a direção dos vigotes pode ser escolhida na direção mais conveniente ao carregamento das vigas, como mostra a figura 5.14.

## **CAPÍTULO 6**

### **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

Todo projeto de uma edificação deve, obrigatoriamente, cumprir os objetivos a que se destina. Em função disso, as lajes possuem características importantes, que devem ser valorizadas para garantir uma perfeita adequação ao projeto.

Essas missões não são unicamente de separar os pavimentos e absorver as cargas a elas impostas, mas também de promover um isolamento de origem térmica, acústica, à umidade e de resistência ao fogo.

A escolha de uma laje, necessariamente, deve levar em consideração todos esses fatores, para que se obtenha um projeto realmente adequado ao que se propõe, isto é, cumprir as exigências de norma quanto a segurança e proporcionar as condições de conforto necessárias a toda edificação.

#### **6.1. DESEMPENHO ESTRUTURAL**

A principal função da laje consiste em materializar os andares, suportando seu peso próprio e todas as sobrecargas de utilização, transmitindo-as aos apoios. Além disso, as lajes também contribuem para a resistência do conjunto da edificação, funcionando como elemento de contraventamento, sobretudo em relação as forças horizontais, provenientes da ação do vento.

Durante o período de construção como o de serviço, as lajes devem resistir com segurança, a todas as solicitações previstas, não apresentando problemas de fissuração ou deformação excessivas.

Estudos e ensaios experimentais, com esse tipo de laje pré-moldada, levaram a conclusão que as deformações reais são menores do que as teóricas, para um carregamento até 1,3 vezes a sobrecarga de utilização. As deformações reais começam a ser maiores que as teóricas quando ultrapassado esse limite (PADARATZ, 1990).

Esse fenômeno é causado pelo fato de que inicialmente, existe um comportamento uniforme entre o vigote e o concreto adicionado em obra para o capeamento, no entanto, próximo a ruptura, essa uniformidade tende a diminuir, devido a falta de monolitismo, provocando uma minoração do momento de inércia ( $I$ ) adotado.

Outro fenômeno que deve ser levado em consideração é o efeito de arco que surge entre os vigotes.

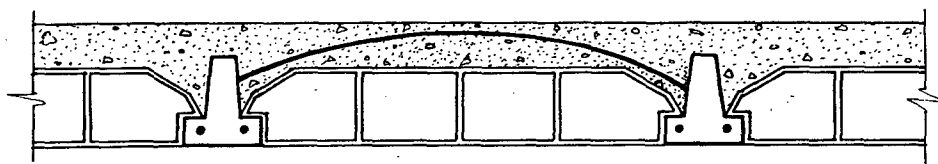


FIGURA 6.1. EFEITO DE ARCO (APOLO, 1979)

Por esse motivo, a forma dos blocos cerâmicos deveria ser modificada, com o arredondamento dos cantos superiores, a fim de propiciar uma redução do raio de curvatura do arco, diminuindo com isso os esforços horizontais (empuxo), melhorando, consequentemente, seu funcionamento.

Pode-se concluir portanto, que esse tipo de laje comporta-se para as cargas normais de serviço, de maneira idêntica as lajes de seção maciça e na ruptura como lajes nervuradas (NORMA ESPANHOLA, 1988).

## 6.2. ISOLAMENTO TÉRMICO

O comportamento dos diferentes tipos de laje, referente a passagem do calor é muito variável. A transmissão calorífica, através de um elemento, é função da sua espessura e do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais que o compõem (PATTON, 1978).

As lajes executadas com blocos cerâmicos vazados, possuem uma resistência térmica bem mais eficiente que as lajes maciças, em virtude dessas lajotas terem um coeficiente de condutibilidade térmica pequeno em relação ao concreto e pelo colchão de ar que se forma naturalmente entre seus vazios (furos).

Contudo, essas lajes expostas continuamente a grandes variações de temperatura, como ocorrem nos países tropicais, estão mais sujeitas a fissuração, devido a diferença entre os coeficientes de dilatação do concreto e do bloco cerâmico, e ainda, pelo efeito dilatação/compressão contínuo. Há portanto, necessidade de um isolamento adequado para que estes problemas sejam evitados (SCHILD, 1976)

### **6.3. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

As lajes e seus revestimentos de piso e teto, devem garantir um determinado isolamento acústico entre os andares. Os ruídos podem ser transmitidos pelo ar, como o som, ou por impacto através da queda de objetos sobre a laje ou mesmo de passos.

O isolamento acústico, dos ruídos transmitidos pelo ar, é diretamente proporcional a massa dos materiais constituintes das lajes (Lei da Massa). Assim, a laje pré-moldada possui um isolamento acústico inferior ao de uma laje maciça com a mesma espessura. Portanto, a espessura da laje pré-moldada tem influência fundamental na transmissão desses ruídos

Quanto aos ruídos provenientes de impacto, a espessura da laje e seus materiais componentes tem pouca influência, sendo que o importante para minimizá-los é o acabamento do piso da laje (PATTON, 1978).

### **6.4. ESTANQUEIDADE**

As lajes pré-moldadas utilizadas entre andares, garantem uma estanqueidade às águas de lavagem ou provenientes de derramamentos acidentais de curta duração, desde que possuam um acabamento superficial apropriado.

Nas lajes expostas, exige-se uma impermeabilização adequada para impedir a penetração das águas pluviais, comprometendo sua estética e segurança.

Essas impermeabilizações, executadas com materiais betuminosos ou similares, em forma de tinta ou película, aplicadas diretamente sobre a laje, devem ser protegidas por um revestimento de argamassa de cimento e areia (proteção mecânica), para impedir seu desgaste. Esse tipo de impermeabilização é suficientemente elástico para acompanhar as deformações da laje, oriundas da movimentação térmica (SCHILD, 1976).

## **6.5. RESISTÊNCIA AO FOGO (NB - 503)**

Dos materiais normalmente empregados na construção civil, os que melhor se comportam, quando submetidos a ação do fogo, são o concreto e a alvenaria (FERREIRA, 1978).

Os principais danos ocasionados às estruturas de concreto, quando submetidos a ação do fogo, são as seguintes:

- calcinação superficial do concreto;
- movimentos de dilatação estrutural durante o sinistro;
- movimentos de retração estrutural após a ocorrência do incêndio;
- movimentação das armaduras atingidas pelo calor, devido a dilatação dos aços.

As lajes, como geralmente são elementos de pouca espessura, e o aço, quase sempre possuem bitolas pequenas, e tendem a apresentar um cobrimento também reduzido, são as mais atingidas pela ação do calor.

A ação do calor dilata a ferragem fina da armadura positiva das lajes, e a sua movimentação vai acarretar não só a perda de aderência ao concreto, como também a expulsão do revestimento. Essa movimentação resulta numa esfoliação do concreto na parte inferior da laje, além do enfraquecimento do conjunto concreto/armadura, por perda de aderência.

As lajes pré-moldadas são mais sensíveis a ação do fogo e quase sempre entram em colapso. Quando isso não acontece, apresentam deformações excessivas, que normalmente, são os fatores condicionantes para a sua condenação.

As deformações acentuadas exigiriam, por razões não só estéticas, mas também de resistência estrutural, reforços que apresentariam uma espessura final grande e, conseqüentemente, um acréscimo excessivo do peso próprio, resultando assim, na impossibilidade de sua recuperação (FERREIRA, 1978).

## **CAPÍTULO 7**

### **AValiação DO PRODUTO**

Com o objetivo de proporcionar ao futuro empresário, subsídios para montagem de uma indústria de vigotes pré-moldados de concreto, elaborou-se uma planilha de custos, que deve ser encarada como um roteiro inicial, suscetível a um planejamento específico para cada caso.

#### **7.1. CUSTOS DE FABRICAÇÃO**

De início, deve-se começar com uma produção pequena e ir aumentando progressivamente, podendo assim, avaliar o mercado consumidor, se a empresa está sendo bem administrada e se o investimento está proporcionando o retorno esperado. Além disso, uma produção modesta requer menores investimentos em matéria prima e mão-de-obra, facilitando o controle das despesas (OLIVEIRA, 1991).

Como sugestão, para iniciar uma produção mensal de 2000 m<sup>2</sup> de laje (na região da Grande Florianópolis, a produção média mensal durante o ano de 1992, das onze indústrias instaladas foi de 4180,00 m<sup>2</sup>), são necessários:

- terreno com aproximadamente 1000 m<sup>2</sup>;
- área coberta de aproximadamente 150 m<sup>2</sup>;
- engenheiro responsável;
- encarregado/vendedor/medidor;
- recepcionista/atendente;
- três operários para produção e entrega;
- uma betoneira (320 litros);
- 60 fôrmas metálicas de 6,00 m com respectivos espessadores;
- uma mesa ou carro transportador vibratório;
- uma máquina para retificar e cortar os fios de aço;
- uma bancada para dobragem da armadura dos vigotes;
- ferramentas diversas.

Na área coberta, serão instaladas: a administração, o almoxarifado para guarda do cimento, do aço e as ferramentas e ainda uma dependência para uso dos operários. O restante do terreno será utilizado para estacionamento, depósito dos agregados, pátio de cura e estocagem dos vigotes e dos blocos cerâmicos, que serão adquiridos de terceiros.

Os custos de fabricação ou custos operacionais da empresa, são os Custos Fixos e Custos Variáveis. Os custos fixos são constantes e independem do nível de produção. Fazem parte desses custos a folha de pagamento, outras despesas, tais como a depreciação (baseada no tempo de vida útil dos equipamentos, cuja média é de 10 anos, ou seja, 10 % dos investimentos), encargos sociais e dias parados (145,56 % sobre os salários, conforme o Sindicato de Indústria da Construção Civil de Santa Catarina - SINDUSCON), materiais de consumo e limpeza, propaganda, telefone e licenças para funcionamento da empresa. Os custos variáveis são os custos das matérias primas que entram na composição dos vigotes e dos blocos cerâmicos. Os cálculos são efetuados com base no dólar oficial do dia 25/03/93, cujo valor em cruzeiros representava Cr\$ 24.065,00, a fim de que os custos sejam sempre atualizados e a inflação corrigida diariamente (MARTINS, 1985).

Para uma produção mensal de 2000 m<sup>2</sup> de lajes pré-moldadas, para um inter-eixo de 35 cm, são necessários 5714,28 metros de vigotes e 32000 blocos cerâmicos.

Como exemplo, adota-se o traço para confecção dos vigotes com as proporções de 1 : 2,5 : 4 com um fator água/cimento de 0,62. Com isso, para cada saco de cimento, obtém-se 173 litros de concreto (0,173 m<sup>3</sup>), produzindo 30 metros de vigotes, com uma resistência provável de 18 MPa ( $f_{ck} = 18 \text{ MPa}$ ).

### 7.1.1. PLANILHA DE CUSTOS

#### 1. INVESTIMENTOS

Equipamentos	Qtde.	em US\$ CUSTOS	
		Unitário	Total
Betoneira 320 l	01	432,00	432,00
Carro Vibratório	01	618,00	618,00
Retificador de fios	01	2320,00	2320,00
Fôrmas	60	28,00	1680,00
Bancada para dobragem	01	75,00	75,00
Móveis para escritório	-	-	310,00
Ferramentas	-	-	40,00
Diversos	-	-	25,00
<b>TOTAL</b>			<b>5500,00</b>



O custo dos equipamentos, baseados no preço médio, foram coletados no comércio de Florianópolis.

## 2. CUSTOS FIXOS

### 2.1. FOLHA DE PAGAMENTO

em US\$/mês			
Mão-de-obra	Qtde.	Salário	Pró-labore
Encarregado	01	250,00	-
Operários	03	360,00	-
Engenheiro	01	-	300,00
Contador	01	-	80,00
Recepcionista/Atendente	01	130,00	-
Total sem encargos sociais		740,00	380,00
Total com encargos sociais		1817,14	
Total Geral		2.197,14	

### 2.2. OUTROS CUSTOS

em US\$/mês	
Discriminação	Mensal
Depreciação	50,00
Manutenção	25,00
Material de Escritório	10,00
Material de Limpeza	10,00
Propaganda	50,00
Registros CREA/Prefeitura	5,00
Telefone	35,00
Total	185,00

Estes custos foram elaborados pela média mensal, de uma indústria de médio porte localizada em Florianópolis.

### 2.3. TOTAL DOS CUSTOS FIXOS

em US\$/mês	
Discriminação	Mensal
Mão-de-obra	2.197,14
Outros Custos	185,00
Total	2.382,14

Por metro quadrado de laje, teríamos:  $2.382,14/2000 = 1,191 \text{ US\$/m}^2$

3. CUSTOS VARIÁVEIS

Para produzir-se  $1 \text{ m}^2$  de laje pré-moldada são necessários 2,86 m de vigotes para um inter-eixo de 0,35 m.

3.1 Custo da materia prima para fabricação de  $1 \text{ m}^2$  de laje, sem incidência do ICMS.

Material	Consumo	Unid.	em US\$/m <sup>2</sup>	
			Unit.	Total
cimento	4,931	kg	0,116	0,572
aço	0,961	kg	0,384	0,369
areia	8,629	dm <sup>3</sup>	0,003	0,026
brita	13,805	dm <sup>3</sup>	0,011	0,152
desmoldante	0,051	dm <sup>3</sup>	0,157	0,008
água/energia elet.	-	-	-	0,002
Total	1,129			

3.2 Custo dos blocos cerâmicos por metro quadrado de laje.

Bloco	Consumo/m <sup>2</sup>	em US\$/m <sup>2</sup>	
		Unit.	Total
H-8	16	0,05	0,80

3.3 Resumo dos custos variáveis

em US\$/m <sup>2</sup>	
Discriminação	Custo
vigotes	1,129
blocos	0,800
Total	1,929

4. DESPESAS VARIÁVEIS

Discriminação	Porcentagem
Frete	4,0 %
ICMS	17,0 %
Total	21,0 %

## 5. CUSTO TOTAL

Considerando a produção de 2000 m<sup>2</sup> de laje pré-moldada por mês, o custo totaliza:

US\$		
Discriminação	m <sup>2</sup>	Mensal
Custo Fixo	1,191	2382,14
Custo Variável	1,929	3858,00
Custo Total	3,120	6240,14

## 6. PREÇO DE VENDA - PV

O lucro desejado é de 10 % sobre o preço de venda

$$PV = \frac{\text{CUSTO TOTAL DO PRODUTO}}{100 - (\text{DESPESAS VARIÁVEIS} + \text{LUCRO})} \times 100$$

$$PV = \frac{3,120}{100 - (21 + 10)} \times 100$$

$$PV = 4,52 \text{ US$/m}^2 \text{ de laje}$$

## 7. PONTO DE EQUILÍBRIO - PE

As despesas variáveis devem ser abatidas do preço (P):

$$P = PV \times \frac{100 - \text{DESPESAS VARIÁVEIS}}{100}$$

$$P = 4,52 \times \frac{100 - 21}{100} \quad P = 3,57 \text{ US$}$$

$$PE = \frac{\text{CUSTOS FIXOS TOTAIS}}{\text{PREÇO} - \text{CUSTO VARIÁVEL}}$$

$$PE = \frac{2382,14}{3,57 - 1,93} = 1452 \text{ m}^2 \text{ de laje}$$

Esta indústria precisa produzir apenas 1452 m<sup>2</sup> de laje pré-moldada para não ter prejuízo.

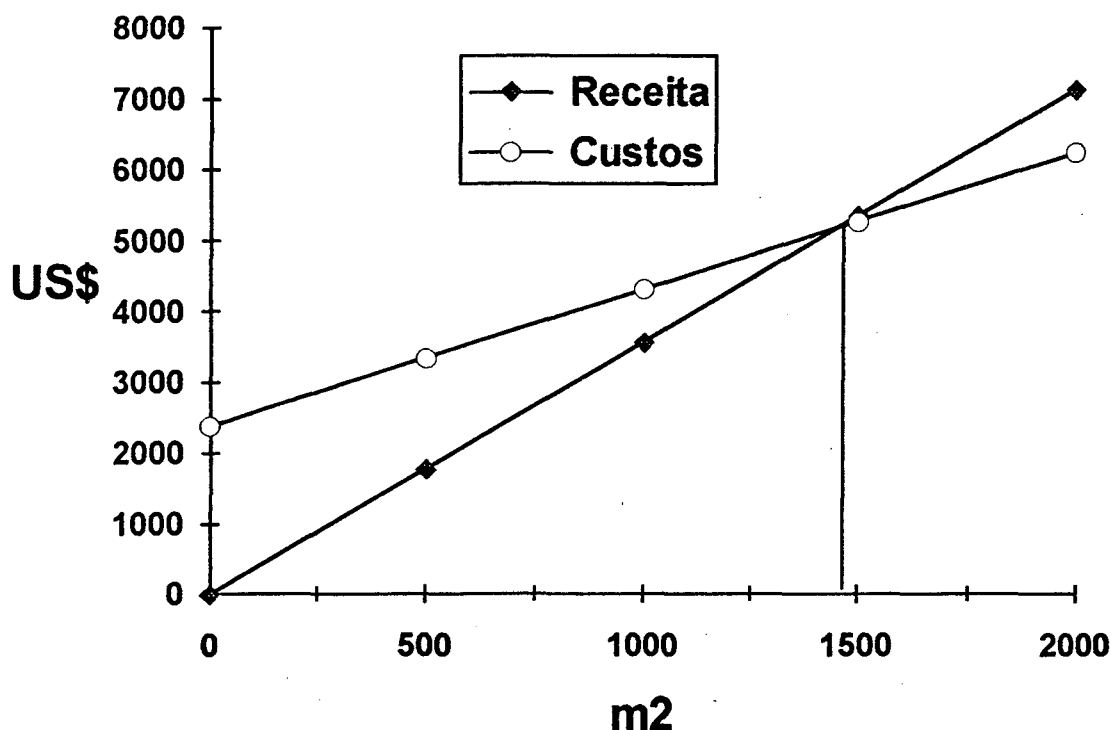


FIGURA 7.1 - PONTO DE EQUILÍBRIO

## 7.2. COMPARAÇÃO COM OUTROS TIPOS DE LAJE

A necessidade de comparação entre os custos da laje pré-moldada com vigotes de concreto armado com as demais lajes usualmente empregadas nas edificações, tornou-se importante a fim de que, por estes parâmetros e os relativos ao desempenho (capítulo 6), possa-se optar por determinado tipo de laje.

Esta comparação será com respeito às lajes maciças e as nervuradas, pois são as mais utilizadas nas construções.

Para este exemplo, utiliza-se uma laje com dimensões de 3 m de largura por 5 m de comprimento, com uma sobrecarga de 1,5 kN/m².

A composição dos preços referentes a mão-de-obra foram extraídos do TCPO - Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos, sendo incluídas as leis sociais nestes cálculos (TCPO, 1987).

Optou-se para esta composição o dólar oficial, de modo a manter a atualização dos preços (dia 25/03/93, com o valor de Cr\$ 24.065,00).

### 7.2.1. LAJE PRÉ-MOLDADA

Para vencer um vão de 3 m é suficiente uma laje com espessura de 11 cm (bloco cerâmico + capeamento). A armadura de distribuição será com fios de aço de 4,2 mm espaçados a cada 23 cm no sentido transversal aos vigotes e com aço de 3,4 mm a cada  $b_f$  (inter-eixo), paralelos as nervuras.

Discriminação	Qtde.	Unid.	em US\$ Custos	
			Unitário	Total
Laje	15,00	m <sup>2</sup>	4,52	67,80
Fôrmas	3,75	m <sup>2</sup>	2,80	10,50
Concreto (capa)	0,53	m <sup>3</sup>	41,51	22,00
Armadura	12,30	kg	0,72	8,66
Escoras	4,00	un	0,70	2,80
Pedreiro	10,00	hs	2,55	25,50
Servente	15,00	hs	1,63	24,45
Total			161,71	
Custo por metro quadrado			10,78	

### 7.2.2. LAJE MACIÇA

Para esta laje foi adotada uma espessura de 7 cm, satisfazendo as condições de deformação e fissuração excessivas, impostas pela norma. Para a armadura foi usado o aço de 4,2 mm e as fôrmas executadas com tábuas de pinus.

Discriminação	Qtde.	Unid.	em US\$ Custos	
			Unitário	Total
Fôrmas	18,20	m <sup>2</sup>	2,80	50,96
Armadura	36,00	kg	0,72	25,92
Escoras	15,00	un	0,70	10,50
Concreto	1,05	m <sup>3</sup>	41,51	43,58
Pedreiro	5,00	hs	2,55	12,75
Carpinteiro	11,00	hs	2,55	28,05
Ferreiro	3,00	hs	2,55	7,65
Servente	28,00	hs	1,63	45,64
Total			225,05	
Custo por metro quadrado			15,00	

### 7.2.3. LAJE NERVURADA

Esta laje, com espessura de 14 cm, nervuras de 5 cm e espaçadas a cada 40 cm, com um capeamento de 4 cm, foi calculada obedecendo aos critérios de norma. Para a armadura das nervuras foram adotados aços de 10 mm e 6,3 mm e para a armadura do capeamento de 4,2 mm. As formas são executadas com tábuas de pinus.

Discriminação	Qtde.	Unid.	em US\$ Custos	
			Unitário	Total
Fôrmas	18,20	m <sup>2</sup>	2,80	50,96
Armadura	48,00	kg	0,72	34,56
Escoramento	15,00	un	0,70	10,50
Tijolos	410,00	un	0,05	20,50
Concreto	0,90	m <sup>3</sup>	41,51	37,36
Pedreiro	6,00	hs	2,55	15,30
Carpinteiro	11,00	hs	2,55	28,05
Ferreiro	4,00	hs	2,55	10,20
Servente	35,00	hs	1,63	57,05
Total			264,48	
Custo Por Metro Quadrado			17,63	

No caso de edifícios residenciais de maior porte, executados por empresa construtora que possua fôrmas e escoramento racionalizados com grande reaproveitamento, a mão-de-obra pode ser reduzida a ponto de tornar a opção pela laje maciça, ou nervurada, mais interessante.

Comparativamente, percebe-se a diferença entre os custos destas lajes, proporcionando ao usuário uma real economia no caso de adotar-se a laje de vigotes pré-moldados (NAPPI, 1993).

## **CAPÍTULO 8**

### **INDICAÇÕES**

A evolução dos processos construtivos está diretamente ligada ao aumento da demanda de mercado, a necessidade de execução de todas as etapas da obra, através de um planejamento adequado e na ânsia do ser humano em aprimorar, cada vez mais, as técnicas inerentes a construção civil, a fim de minimizar os custos e melhorar as condições de habitabilidade.

Com esta intenção que este trabalho de pesquisa foi elaborado, fornecendo ainda, subsídios para implantação de novas indústrias e melhoria da qualidade das existentes.

#### **8.1. NOVOS TIPOS DE LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTES**

Os tradicionais vigotes de concreto armado, em forma de "T" invertido, não apresentam as condições ideais de monolitismo, pela falta de rugosidade das faces que entram em contato com o concreto adicionado em obra. A necessidade de melhorar este aspecto, conferindo maior rigidez e segurança à estrutura, sugere modificações que deverão ser introduzidas, alterando a forma dos vigotes para que estas características sejam realmente asseguradas. A figura 2.4, sugere novas formas aos vigotes, com o intuito de melhorar sua aderência com o concreto para o capeamento.

As limitações destas lajes, com respeito aos vãos e sobrecargas, proporcionaram, inicialmente na Europa (APOLO, 1979), pesquisas com a finalidade de contornar estas dificuldades. Surgiram assim, as lajes com vigotes de concreto protendido e os semi-vigotes com armadura em forma de treliça (item 2.2).

A fabricação de vigotes com armadura protendida com aderência inicial, que seria o recomendado, exige técnica e mão-de-obra especializadas e um grande investimento em equipamentos, gerando assim, elevados custos de produção, além de não proporcionar vantagens significativas em vãos até 5 metros, comparados aos vigotes de concreto armado, inviabilizando praticamente, este processo (UEAtc, 1982).

O sistema de vigotes com armadura treliçada, utilizado com grande aceitação na Europa, oferece também um sistema criativo, permitindo grande flexibilidade ao projeto, com pavimentos amplos e livres, sem as restrições impostas pelos vigamentos (figura 2.5).

Este sistema é constituído por uma laje nervurada plana, unidirecional, onde os vigotes treliçados são intercalados com blocos que podem ser de concreto celular, cerâmica, poliestireno ou qualquer material inerte. Reduzem assim, o peso da estrutura, melhorando as condições das fundações.

O modelo estrutural é constituído por uma treliça espacial, hiperestática, com banzos paralelos e nós rígidos.

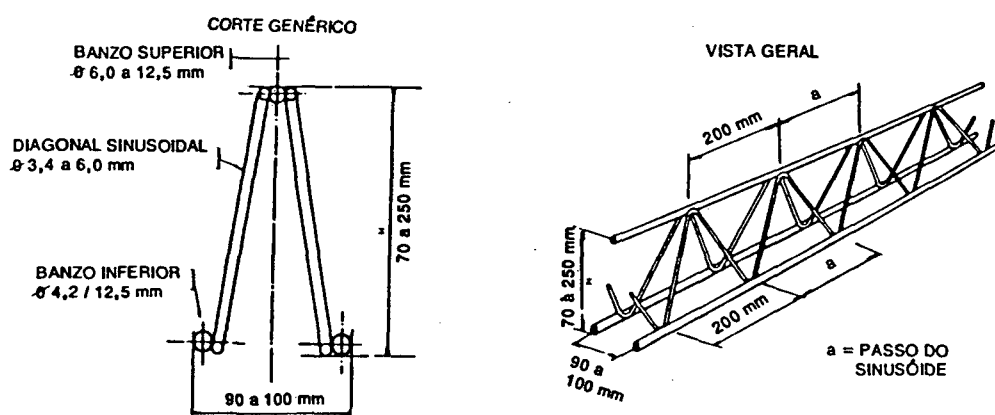


FIGURA 8.1. TRELIÇAS

De acordo com pesquisas efetuadas pelo Centre Scientifique et Technique du Batiment em Paris e pela Università de Trieste na Itália, o dimensionamento da laje é feito no Estado Limite Último, considerando-se a atuação de todas as cargas permanentes e acidentais (NORMA ITALIANA, 1986).

## 8.2. ELEMENTOS PARA DISCUSSÃO DE UMA FUTURA NORMA

Considerando a necessidade de uma discussão a respeito de uma norma específica para este tipo de laje pré-moldada, a fim de padronizar a forma dos vigotes, sua taxa de armadura correspondente e melhorar a qualidade do produto, conferindo-lhe todas as condições de segurança estrutural, apresenta-se algumas sugestões que poderão servir de subsídios para a sua elaboração.



### 8.2.1. GENERALIDADES

As lajes pré-moldadas com vigotes de concreto armado, intercalados com blocos cerâmicos vazados ou elementos de concreto celular, para conferir uma superfície plana e diminuir seu peso próprio, deverão estar subordinadas a NB-1 e consideradas como unidirecionais, isto é, armadas numa única direção.

Estes blocos, não devem ser levados em consideração nos cálculos de dimensionamento das lajes.

### 8.2.2. GEOMETRIA

Os vigotes, em forma de "T" invertido, deverão ter dimensões padronizadas, podendo, sua altura, variar entre 8 e 10 cm (AFALA, 1991).

Os blocos, terão também suas dimensões padronizadas, com alturas de 7, 8, 10 e 12 cm e largura suficiente para permitir um inter-eixo, que não deverá ser superior a 50 cm.

O capeamento, moldado no local da obra, deverá ser uniforme e ter espessura mínima de 3 cm, a fim de absorver os esforços de compressão oriundos da flexão.

### 8.2.3. MATERIAIS CONSTITUINTES DAS LAJES

O concreto para confecção dos vigotes deverá ter um  $f_{ck} \geq 18$  MPa e o concreto para o capeamento, um  $f_{ck} \geq 15$  MPa, devendo prevalecer nos cálculos, o menor deles. Como os vigotes funcionam somente a tração, não há necessidade de elevar-se esses valores.

O aço dos vigotes será o CA 60, considerando-se um Coeficiente de Conformação Superficial igual a 1,0 ( $\eta_b = 1$ ), pois este tipo de aço possui superfície lisa devido ao processo de trefilação empregado na sua usinagem. A recomendação para o uso dos fios CA-60, deve-se ao fato de que pode ser adquirido em rolo, minimizando as perdas. Eventualmente, a hipótese de utilizar-se o aço CA-50, não fica descartada.

#### 8.2.4. CÁLCULO DOS VIGOTES

Deverá seguir rigorosamente as prescrições da NB-1. No dimensionamento, em Estado Limite Último (estádio III), deverá ser observado que, para obtenção dos momentos fletores positivos, os cálculos deverão ser efetuados como viga de seção "T", resultante da integração da nervura com a capa. A mesa ( $b_f$ ), deverá ser tomada com largura igual ao inter-eixo. Para os momentos fletores negativos, calcula-se como seção retangular, com  $b_w$  sendo a largura da nervura.

Não deverá ser permitido ainda, para os vigotes, a consideração de seções super-armadas, com o emprego de armaduras longitudinais de compressão (armadura dupla), pois esta armadura, após o capeamento, não ficaria situada na zona comprimida, isto é, estaria abaixo da linha neutra.

Os cálculos para dimensionamento dos vigotes ao esforço cortante, deverão ser efetuados de tal forma a dispensar as armaduras transversais (estribos), para resistir aos esforços de tração oriundos do cisalhamento. A tensão convencional de cálculo ao cisalhamento  $\tau_{wd}$ , não poderá ser superior ao valor limite  $\tau_{wul}$ .

#### 8.2.5. VERIFICAÇÕES

A fissuração deverá ser verificada de acordo com o prescrito no item 4.2.2 da NB-1. Entretanto, como estas lajes, por suas próprias características, deverão ser revestidas, o controle da fissuração poderá ser efetuado, considerando-se o caso de abertura máxima das fissuras que é de 0,3 mm.

O deslocamento vertical das lajes, também conhecido como flecha, poderá ser verificado no Estádio I, conforme o item 4.2.3.1 da NB-1 e calculado pelas fórmulas tradicionais da Mecânica dos Sólidos, tomando-se para o momento de inércia  $I$ , como sendo o da seção "T", formada pela nervura com o capeamento. Deverá ser avaliada ainda, considerando-se o carregamento total (permanente + acidental), e limitada a 1/300 do vão teórico.

#### 8.2.6. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Na direção perpendicular às nervuras, será obrigatório a colocação de armadura complementar de distribuição de tensões e travamento dos vigotes, posicionada na mesa de compressão (item 4.1.3.2 da NB-4), isto é, para o aço CA 60 será de 0,6 cm<sup>2</sup>/m, contendo pelo menos três barras por metro.

Nas lajes pré-moldadas contínuas, as nervuras deverão ser coaxiais, isto é, dispostas num mesmo alinhamento.

Quanto aos balanços, somente deverão ser permitidos aqueles para formação de beirados, com comprimento máximo de um metro. Não deverá ser permitido ainda, cargas linearmente distribuídas na direção paralela aos vigotes, cargas concentradas pontuais e aberturas na laje que interrompam a continuidade das nervuras.

### **8.3. INDICATIVOS PARA NOVAS PESQUISAS**

A necessidade de uma maior integração entre a tecnologia de construção, os materiais, os custos, os métodos experimentais, as interferências de caráter técnico e sociais na proposta de projeto, execução e avaliação do desempenho de um componente construtivo, são elementos a serem discutidos e analisados, de modo a proporcionarem subsídios aos profissionais da construção civil.

A abordagem do tema, apesar da abrangência com que foi tratado neste trabalho, ainda indica a necessidade de maior aprofundamento da questão gerencial e administrativa, bem como dos aspectos relativos à industrialização da construção.

Sugere-se ainda, pesquisas com respeito as formas dos vigotes, com o objetivo de assegurar um melhor monolitismo entre a nervura e o capeamento, sobre as variações entre as medidas do inter-eixo, a fim de otimizar os custos, sobre as armaduras em forma de treliça, sobre a forma dos blocos cerâmicos de modo a melhorar o desempenho e sobre a aplicação de outros tipos de blocos, tais como os de concreto celular ou argila expandida.

Outros assuntos que poderiam ainda serem abordados são os que dizem respeito as reações da laje em seu contorno, isto é, as reações nas regiões perpendiculares aos vigotes; as lajes pré-moldadas contínuas sem armadura negativa de ligação; os resultados experimentais obtidos em laboratório para avaliação do desempenho, utilizando-os no modelo teórico; o espaçamento ideal entre vigotes e uma abordagem desse tipo de laje na região da grande Florianópolis.

Com estas indicações, ter-se-ia um novo repertório de sistemas e componentes construtivos devidamente capacitados a integrarem o universo de opções da construção civil.

## **CAPÍTULO 9**

### **CONCLUSÕES**

A utilização das lajes com vigotes pré-moldados é prejudicada, muitas vezes, pela total inobservância dos critérios descritos, fazendo com que estas lajes não atendam aos requisitos necessários e imprescindíveis com respeito ao desempenho estrutural e de conforto.

Portanto, a observação destas regras de qualidade é fundamental para que as condições de segurança, habitabilidade e durabilidade sejam atingidas.

Este trabalho de pesquisa visou estabelecer, de maneira geral, através de uma uniformização do projeto, da fabricação e da utilização, subsídios para uma futura homologação deste tipo de laje pré-moldada.

#### **9.1. QUANTO À FABRICAÇÃO**

A industrialização dos vigotes de concreto armado, por sua simplicidade e rapidez de execução, não requer por parte do empresário grandes investimentos em equipamentos, mão-de-obra e matéria prima.

Necessita atender aos requisitos da produção de modo a minimizar os custos e manter um rigoroso controle de qualidade, a fim de conferir ao produto, as necessárias condições de segurança, dentro da necessária rentabilidade.

#### **9.2. QUANTO AO CUSTO**

A comparação entre os custos para utilização das lajes pré-moldadas com vigotes de concreto armado em relação as lajes maciças e as nervuradas, apresentam substancial diferença.

Uma laje maciça com espessura de 7 cm, custa ao usuário a importância de US\$ 15,00 por metro quadrado, enquanto que a pré-moldada custa US\$ 10,78. Isto representa um custo adicional de 39,15%.

Já a laje nervurada, com o valor de US\$ 17,63 por metro quadrado, tem seu custo 63,54% a mais que a pré-moldada.

Fica portanto, caracterizado um relativo baixo custo destas lajes.

### **9.3. QUANTO À EXECUÇÃO**

A. facilidade e simplicidade na execução, onde os vigotes são apoiados diretamente sobre as fôrmas das vigas ou sobre paredes estruturais, possuindo, se necessário, suportes intermediários, ficam perfeitamente alinhados pela colocação de lajotas em suas extremidades.

É possível ainda, a execução dos mais diversos tipos de lajes (poligonais ou curvas), bastando para tanto, dimensionar os comprimentos dos vigotes de tal maneira a se adaptarem a estas formas.

Com respeito a mão-de-obra, cujos dados foram baseados no TCPO, pode-se afirmar, que existe uma redução do tempo gasto por metro quadrado de laje, de 88% em relação as lajes maciças e de 124% em relação as nervuradas, representando portanto, um ganho de produção considerável, ficando assim, caracterizadas as vantagens econômicas destas lajes.

### **9.4. QUANTO AO DESEMPENHO**

O desempenho estrutural destas lajes, desde que os critérios de dimensionamento, fabricação e execução sejam rigorosamente obedecidos, e, satisfazendo as exigências de norma, torna-os adequados às suas finalidades, isto é, para edificações residenciais ou com ocupação semelhante.

O desempenho térmico, por influência dos elementos intermediários, os blocos vazados de cerâmica, é superior ao da laje maciça.

O desempenho acústico é diretamente proporcional a densidade do material. As lajes maciças, por suas próprias características, possuem um desempenho acústico superior as lajes pré-moldadas.

Quanto a estanqueidade, isto é, o impedimento da passagem das águas, pela pequena espessura do capeamento, nas lajes expostas, é necessário a devida impermeabilização.

Esta tecnologia apresenta portanto, todas as condições reais e necessárias de continuar inserida na construção civil, como um importante componente construtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado. Rio de Janeiro, NB-1 (ABNT, 1982 - NBR 6118/82).

ABNT - Cálculo e Execução de Lajes Mistas. Rio de Janeiro, NB-4 (ABNT, 1980 - NBR 6119/80).

ABNT - Exigências Particulares das Obras de Concreto Armado e Protendido em Relação a Resistência ao Fogo: Procedimentos. Rio de Janeiro, NB-503 (ABNT, 1980 - NBR 5627/80).

ABNT - Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, NB-5 (ABNT, 1980 - NBR 6120/80).

ABNT - Ações e Segurança nas Estruturas. Rio de Janeiro, NB-862 (ABNT, 1984 - NBR 8681/84).

ABNT - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré- Moldado. Rio de Janeiro, NB-949 (ABNT, 1985 - NBR 9062/85).

ABNT - Projeto de Estruturas de Concreto Protendido. Rio de Janeiro, NB-116 (ABNT, 1989 NBR 7197/89).

ABNT - Barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1985, EB-3 (NBR 7480/85).

AFALA - ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE LAJES DE SÃO PAULO, Lajes pré-moldadas de concreto. São Paulo, 1991.

ALMEIDA FILHO, E.C. - Manual Técnico de Lajes Pré-moldadas. ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS DA BAHIA, 1982.

- APOLO, Geronimo L. - Forjados y Losas de Piso: Forjados Unidireccionales. Espanha, Ediciones G.L.A., 1979.
- BAUER, L.A.F. - Materiais de Construção. Rio de Janeiro, Livros Técnicos, 1979.
- BRUNA, P.J.V. - Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento. São Paulo, Editora Perspectiva, 1976.
- CANTANHEDE, Cesar - Organização do Trabalho. São Paulo, Editora Atlas, 1976.
- FERREIRA, Sérgio G. - Ação do Incêndio nas Estruturas de Concreto Armado. São Paulo, IBRACON, 1978.
- HELENE, Paulo - Controle de Qualidade do Concreto. In: II Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis, UFSC, 1989.
- HITCHCOC, Henry R. - World Architecture. Londres, Hamlyn Publishing Croup, 1981.
- KONCS, T. - Manual de la Construcción Prefabricada. Espanha, Hermann Blume, 1976.
- LOESER, Benno - Concreto Armado: Cálculo e Tabelas. São Paulo, Ed. Científica, 1962.
- MACAULAY, David - A Cidade: Planificação e Construção de uma Cidade Romana. Lisboa, Publicações Don Quixote, 1978.
- MARCELLINO, Narbal A. Projeto e Produção de Sistemas e Componentes em Argamassa Armada. São Carlos, EESC-USP, 1991 (Dissertação de Mestrado).
- MARTINS, Eliseu - Contabilidade de Custos. São Paulo, Editora Atlas, 1985.
- MOLLICA JR, Sérgio - Tela Soldada no Combate a Fissuração. EPUSP, 1979.
- MONTENEGRO, H.H.F. & SOUZA, R. - A Certificação de Conformidade na Construção Civil. São Paulo, Revista A Construção Nº 10, 1983.
- MULLER, L. F. & PINTO, J.A.N. - Ensaio de Lajes Mistas e seus Componentes. Santa Maria, RS, UFSM, 1984.



- NAPPI, Sérgio C.B. - Análise Comparativa entre Lajes Maciças, com Vigotes Pré-moldados e Nervuradas. Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis, UFSC, 1993 (Dissertação de Mestrado).
- NORMA ESPANHOLA EF 88 - Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Forjados Unidireccionales de Hormigon Armado o Protensado. Espanha, Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo, 1988.
- NORMA ITALIANA - Norme Technique Per Il Progetto Delle Strutture In Cemento Armato Normale e Precompresso. Itália, Gazzetta Officiale, 1986.
- OLIVEIRA LIMA, J. Carlos - Lajes Mediterrâneas. São Paulo, Boletim Técnico: Sistema Trelçado Global, 1991.
- PADARATZ, I. J. - Ensaios de Lajes Pré-moldadas. Florianópolis, UFSC, 1990.
- PATTON, W.J. - Materiais de Construção. São Paulo, Editora Pedagógica Universitária, 1978.
- ROSSO, Teodoro - Métodos Artesanais e Métodos Industriais. São Paulo, FAU-USP, 1980.
- SALAS SERRANO, J. - Alojamento y Tecnologia: Industrialización Abierta. Espanha, Instituto Eduardo Torroja, 1980.
- SEGURADO, J.E. dos SANTOS - Cimento Armado. Portugal, Aillaud Ltda, 1947.
- SCHILD, Erich - Structural Failure in Residential Buildings. Nova Iorque, John Wiley, 1976.
- SOUZA, Roberto - Qualidade, Modernização e Desenvolvimento: Diretrizes para Atualização Tecnológica da Indústria da Construção Civil. In: II Simpósio de Desenvolvimento de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis, UFSC, 1989.
- SOUZA, Roberto - Avaliação de Desempenho Aplicada a Novos Componentes e Sistemas Construtivos para Habitações. São Paulo, Revista A Construção, Nº 2, 1983.
- TCPO - Tabela de Composições de Preços para Orçamentos. São Paulo, Editora PINI, 1987.

UEAtc - UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA  
CONSTRUCTION. Directivas Comuns para a Homologação de Pavimentos não  
Tradicionais de Betão Armado ou Pré-esforçado. Portugal, 1982.

VASCONCELOS, A.C. - O Concreto no Brasil: Recordes, Realizações, História. São Paulo,  
Copiare, 1985.

## **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

ABCI - Associação Brasileira da Construção Industrializada - Manual Técnico de Pré-fabricação de Concreto. São Paulo, Projeto Editores Associados, 1987.

ALMEIDA, H.S. - Um Estudo do Vínculo Tecnológico entre Pesquisa, Engenharia, Fabricação e Consumo. São Paulo, USP, 1981.

BENDER, Richard. - Una visión de la Construcción Industrializada. Espanha, Ed. Gustavo Gilli, 1987.

CAMPANARI, F.A. - Teoria das Estruturas. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1985.

CASAROTTO FILHO, N. & KOPITKE, B.H. - Análise de Investimentos. São Paulo, Edições Vértice, 1990.

CEB - Comité Euro-International du Béton, Code Modele CEB-FIP, Pour Les structures em Béton. Paris, 1978.

ENGEL, H. - Sistemas de Estruturas. São Paulo, Ed. Hemus, 1970.

FIP - Fédération International de la Précontrainte - Composite Beam-block Floor Systems. Madri, 1992.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - Diagnóstico Nacional da Indústria da Construção. Belo Horizonte, 1984.

FUSCO, P.B. - Estruturas de Concreto: Fundamentos do Projeto Estrutural. São Paulo, USP, 1976.

FUSCO, P. B. - Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1981.

GRUPO RDB - Elementi in Laterizio e Componenti in Laterocemento. Piacenza, Itália, 1991.

IBRACON - Pré-moldados de Concreto. São Paulo, 1976.

IPT - Tecnologia das Edificações. São Paulo, Ed. Pini, 1988.

ISAIA, G.C. - Deformações e Fissuração do Concreto em Estruturas Correntes. Santa Maria, RS, Ed. UFSM, 1985.

KEPNER, C.H. & TREGOE, B.B. - Administrador racional. São Paulo, Ed. Atlas, 1971.

LEONHARDT, Fritz - Construções de Concreto. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 1984.

MARTUCCI, Ricardo - Sistemas Estruturais. São Paulo, Ed. Atlas, 1971.

MASCARÓ, Juan Luis - O Custo das Decisões Arquitetônicas. São Paulo, Ed. Nobel, 1985.

MASCARÓ, Lúcia R. e MASCARÓ, Juan Luis - A Construção na Economia Nacional. São Paulo, Ed. Pini, 1981.

MASSARO JR, Mário - Manual de Concreto Armado. São Paulo, Ed. Nobel, 1990.

MONTOYA, P. J. - Hormigon Armado. Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 1987.

MOPTC - Ministério de Obras Públicas, Transporte e Comunicação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Homologação de Novos Materiais e Processos de Construção. Portugal, 1991.

MOPU - Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo: Forjados, Vigas y Placas. Espanha, 1990.

PETRIGNANI, A. - Tecnologia de la Arquitectura. Espanha Ed. Gustavo Gili, 1987.

PETRUCCI, E.G. - Concreto de Cimento Portland. Porto Alegre, Ed. Globo, 1978.

PFEIL, Walter - Concreto Armado. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos, 1989.

POLILLO, Adolpho - Concreto Armado. São Paulo, Ed. Nobel, 1981.

ROCHA, Aderson M. - Concreto Armado. São Paulo, Ed. Nobel, 1990.

ROSSO, Teodoro - Teoria e Prática da Coordenação Modular. FAU/USP, 1976.

SALVADORI, Mário - Estruturas para Arquitectos. Buenos Aires, Ed. La Isla, 1976.

SCHMITT, H. - Tratado de Construcción. Espanha, Ed. Gustavo Gilli, 1989.

SIMPÓSIO NACIONAL DA TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO IV: Sistemas Prémoldados para a Construção de Edifícios Industriais e Habitacionais. São Paulo, USP, 1987.

STONE, P.A. - Building Economy: Design, Production and Organization. Londres, Ed. Pergamon, 1976.

SUSSEKIND, J.C. - Curso de Análise Estructural. São Paulo, Ed. Globo, 1991.

TORROJA, E. - Razon y Ser de los Tipos Estructurales. Madri, Ed. Artes Gráficas, 1978.

TURIN, Duccio - Economia de la Construction. Barcelona, Ed. Gustavo Gilli, 1979.